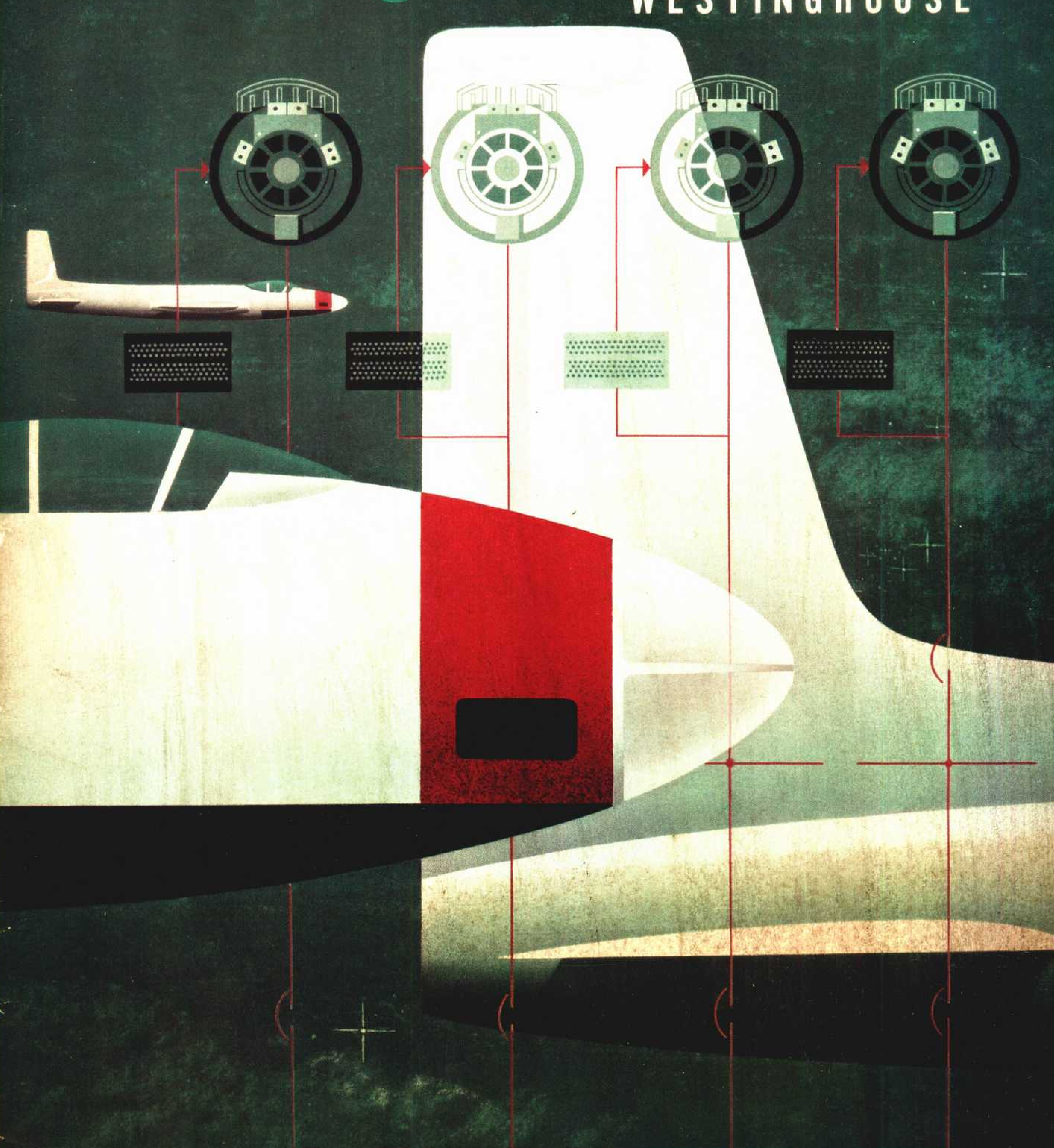
El Ingeniero

WESTINGHOUSE



ENERO-ABRIL, 1956



más tiempo *para el ingeniero*

En la enseñanza de la ingeniería han ocurrido en los últimos 50 años cambios considerables, todos encaminados a preparar mejor al ingeniero para la práctica de su profesión. Al mismo tiempo, no obstante, se ha registrado en el buen desempeño de su cometido otro cambio bastante radical que quizá sea, al menos parcialmente, la causa de los que se han dado a la enseñanza de esta carrera. El trabajo del ingeniero ha sido gradualmente "depurado", es decir que se han delegado en otras personas labores que no requieren conocimientos específicos de ingeniería.

Considérese, por ejemplo, al ingeniero diseñador de productos de hace 50 años. No sólo concebía y construía nuevos aparatos, sino que también hacía sus dibujos, preparaba toda la documentación necesaria para la manufactura, escribía todas las especificaciones y, con frecuencia, seguía la marcha de su producto hasta la instalación definitiva; verificaba la inspección en el taller y la prueba final del aparato, y lo instalaba y ajustaba "a domicilio".

Hoy muchas de estas tareas están delegadas en otros. Los dibujos están a cargo de los delineantes; los empleados de oficina preparan la información para la manufactura; otros técnicos y empleados se ocupan de los programas de producción, el progreso de los trabajos, la inspección y las pruebas; ingenieros y técnicos visitadores se cuidan de la instalación y las reparaciones necesarias.

Todo esto, evidentemente, deja libre al ingeniero una cantidad de tiempo mucho mayor para dedicarla a su labor creadora. Pero con la presente escasez crítica de ingenieros, hay necesidad de invertir con el mayor cuidado y acierto posibles el valioso tiempo de trabajo del ingeniero. En Westinghouse esto ha dado origen a una serie de estudios destinados a determinar las medidas adicionales que pueden adoptarse para "depurar" aún más la ingeniería.

En el estudio inicial cada ingeniero llevó una nota detallada de la forma en que empleó su tiempo durante un determinado número de días. También se indicaba en esa nota cuáles de las labores que efectuó podían haber sido realizadas por otros que no fueran ingenieros.

Con gran sorpresa, los ingenieros descubrieron de este modo que una parte relativamente pequeña, pero apreciable, de su tiempo de trabajo correspondía a labores que podían dejar en manos de empleados no ingenieros. Por ejemplo, había muchos cálculos que podían ser hechos por técnicos; la compilación de datos podía ser efectuada frecuentemente por empleados menos especializados. Aunque el porcentaje del tiempo de trabajo que cada ingeniero empleaba en estas labores que no requerían su atención personal era reducido, en un grupo de diez individuos, pongamos por caso, se veía muchas veces que era suficiente para justificar los servicios de otro técnico o empleado adicional. Con esto, los ingenieros quedaban en condiciones de aprovechar el tiempo ahorrado para trabajos que sólo ellos podían realizar.

Hubo también otras medidas que contribuyeron a "depurar" el tiempo de trabajo de los ingenieros. Cuando abundaban éstos, muy a menudo se les encomendaban tareas que no requerían forzosamente su preparación y sus conocimientos, en las cuales sus estudios y experiencia profesional eran útiles, pero no siempre imprescindibles. Tales labores corresponden a muchos puestos de ventas, compras, planeamiento de producción, relaciones industriales y otros cometidos semejantes. Durante la época de escasez de ingenieros, sin embargo, la experiencia ha demostrado que estudiantes graduados de administración comercial y artes liberales, con preparación complementaria en principios fundamentales de ingeniería y métodos industriales, pueden desempeñar esos cargos tan bien como los ingenieros y tienen iguales oportunidades de ascenso a puestos administrativos.

Muchas veces se considera, erróneamente, que medidas de este orden sirven simplemente para substituir con una máquina o un técnico menos especializado a un ingeniero. Pero no hay substituto posible para un ingeniero profesional capaz de crear, diseñar y perfeccionar. Y hay más trabajo de ingeniería que el que pueden hacer los ingenieros hoy existentes. Por ello, el ingeniero puede siempre aprovechar toda la ayuda que se le ofrezca, ya sea humana o mecánica.

El Ingeniero

WESTINGHOUSE

AÑO XIII • NÚMERO 1 • ENERO-ABRIL, 1956

En este número

LA PORTADA

Bajo la fina epidermis del airoso aeroplano moderno se extienden los nervios y músculos eléctricos que rigen su vida. En la portada del presente número, Dick Marsh sugiere esas funciones valiéndose del circuito de un sistema de control eléctrico y partes de un avión moderno.



Director . . . SALVADOR GODOS • *Subdirector* . . . ADOLFO CONCHA
Jefe de Redacción . . . RICHARD W. DODGE, Director de WESTINGHOUSE ENGINEER
Director Artístico . . . J. G. WESCOTT
Asesores . . . J. A. HUTCHESON, J. H. JEWELL, DALE MCFEATTERS

Publicado 3 veces al año por WESTINGHOUSE ELECTRIC INTERNATIONAL COMPANY (Presidente, William E. Knox; Tesorero, William L. Carroll; Secretario, Albert Olsen), 40 Wall Street, Nueva York 5, E.U.A. Diríjase la correspondencia a *El Ingeniero Westinghouse*. Solicitamos el canje con publicaciones técnicas, y autorizamos la reproducción de nuestros artículos, siempre que se mencione *El Ingeniero Westinghouse* y se nos envíe copia de lo reproducido. Subscripción por dos años (6 números) $3.00 moneda de E.U.A., pagadera por adelantado en cheque o giro postal a la orden de esta Compañía.

IMPRESO EN E.U.A.

control de c.a.



para Sistemas Eléctricos de Aviación

C. L. Mershon y N. F. Schuh, Jr.
Departamento Técnico de Aviación, División de Motores Pequeños
Westinghouse Electric Corporation, Lima, Ohio

Muchos de los aeroplanos que hoy vuelan tienen sistemas eléctricos de capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría de las residencias de una pequeña población. No obstante, las circunstancias del suministro de energía eléctrica para cocinas y máquinas de lavar son muy distintas de las de la aviación, pues las vidas de los habitantes de la localidad no dependen completamente del sistema de suministro eléctrico, como sucede con frecuencia en el caso de un avión. Esto obliga a cuidar mucho más el funcionamiento seguro y eficaz de los controles y dispositivos de protección de los sistemas de energía eléctrica de los aviones; pero al mismo tiempo todo el equipo debe ser pequeño y de poco peso.

Aunque hace mucho tiempo que los servicios de suministro de flúido eléctrico han hecho "standard" el empleo de c.a., los aeroplanos no empezaron hasta hace muy poco a usar c.a. en proporción de alguna importancia. El primer uso importante fué consecuencia de las extensas necesidades de energía eléctrica de los aparatos militares de gran tamaño. Esta energía no podía obtenerse económicamente con el sistema comúnmente usado de 28 voltios, de corriente continua, a causa del excesivo peso de los cables y el gran número de generadores necesarios para suministrar el flúido. Muchos diseñadores de aviones se mostraban reacios a usar la corriente alterna por sus dispositivos de control y protección relativamente complicados en comparación con los dispositivos de c.c. ya probados satisfactoriamente. Sin embargo, recientemente los grandes adelantos de los paneles de control y protección centralizados, los reguladores de voltaje de precisión, y las transmisiones de velocidad constante de poco peso, han incrementado en gran manera el uso de los sistemas de c.a.

Sistemas eléctricos primitivos

El uso de la corriente alterna en la aviación data de la primera guerra mundial, en que los generadores Westinghouse de c.a. movidos por viento, alimentaban los primeros transmisores de chispa de los aeroplanos del Cuerpo de Aviación. Quizá la primera aplicación importante de los sistemas de c.a. fué la hecha en el Douglas XB-19, que voló por primera vez en 1941. Este sistema proporcionaba un total de 25 Kva con dos generadores de c.a. en paralelo a 400 c.p.s. y accionados por motores auxiliares de gasolina.

El primer uso en gran escala de un sistema de c.a. se hizo en el avión Convair B-36. La potencia generada por los cuatro generadores de 40 Kva, funcionando en paralelo, excedía en gran proporción a la del aeroplano anterior. Los generadores eran impulsados por el motor principal del aeroplano por medio de transmisiones hidráulicas de velocidad constante. Esta disposición dió excelentes resultados en centenares de instalaciones de aeroplanos. Sin embargo, los dispositivos de control fueron reducidos al mínimo, y en consecuencia el sistema requería la máxima atención del personal de a bordo.

La mayor dependencia de los auxiliares eléctricos de navegación y aterrizaje, así como el uso de mandos eléctricos para las superficies de control, ha hecho el sistema eléctrico tan esencial como el combustible que mueve los motores. Al ir en aumento la importancia del sistema de energía eléctrica se evidenció más patentemente la necesidad de una protección más adecuada contra las averías y de un uso mayor de las funciones automáticas. Al agregar más componentes, los problemas de instalación y mantenimiento pronto hicieron impracticable el uso de componentes montados por separado. Para superar estos problemas se introdujo el tablero de control y protección centralizado. Las ventajas de este tablero son las siguientes:

1. Facilidad de instalación en el aeroplano. Hay un número mínimo de líneas de interconexión en un punto central destinado a los cables de control y protección.

Los nuevos sistemas de control se evalúan en este banco de pruebas de cuatro generadores simulados, ideado especialmente para ello.



2. Facilidad de mantenimiento del avión. Todo el sistema de protección se puede reemplazar en pocos minutos.

3. Facilidad de mantenimiento de los componentes. Puede desmontarse del aeroplano y revisarse rápidamente el tablero en un banco de pruebas. Esto reduce al mínimo el costo y el tiempo de las reparaciones.

4. Tamaño y peso menores. Requiere un mínimo de piezas de metal y permite que sus componentes se hagan en miniatura.

Diseño del sistema eléctrico

Los proyectistas de los primeros sistemas eléctricos de c.a. para aviación consideraron que la protección del generador y sus alimentadores era de primordial importancia. Aunque esta práctica evitaba generalmente incendios en las zonas de las alas y los motores, daba frecuentemente el resultado de que había que desmontar generadores en buen estado a causa de fallas en otros generadores o en otras partes del sistema. Hoy se hace más hincapié en el mantenimiento ininterrumpido del suministro de energía a las barras colectoras de carga. Esto no indica despreocupación por el peligro de averías del generador y los alimentadores. La protección es igualmente completa, y al mismo tiempo se evita el paro innecesario de los generadores en buen estado, cosa que pudiera causar interrupción del suministro de energía a las cargas esenciales. El diagrama de la Fig. 1 muestra un sistema típico que permite máxima flexibilidad para el mantenimiento ininterrumpido del suministro de energía. Con esta disposición puede utilizarse cualquier combinación de generadores en paralelo para

Comparación de varios paneles de control de c. a.

PANEL DE C.A. PRIMITIVO

Un panel de control característico de los usados en los primeros sistemas de c.a. comprende sólo el relevador de control del generador, la protección contra fallas del generador y alimentadores, y la protección de la excitatriz. La protección de la excitatriz proporcionaba un grado limitado de seguridad contra sobretensión.

PANEL BASICO DE GENERADOR DE C.A. AISLADO

Esta configuración está considerada como el mínimo actual. Habría que usarla solamente cuando el tamaño y el peso fueran de máxima importancia y pudiera tolerarse una protección mínima. En tales sistemas, los alimentadores del generador y la barra de carga deben ser cortos, bien aislados y bien protegidos mecánicamente.

PANEL DE GENERADOR DE C.A. AISLADO

La protección que presta este sistema se considera adecuada para la mayoría de las aplicaciones de generadores de frecuencia muy variable. Pueden añadirse dispositivos de protección, pero no siendo ésta la fuente primaria de energía del avión, no se justifican la complicación y el peso adicionales.

PANEL BASICO DE C.A. EN PARALELO

Este panel cumple funciones de control y protección para un sistema en paralelo en el cual se efectúe la paralelización manualmente. Comprende sólo las funciones consideradas necesarias para asegurar un funcionamiento razonablemente seguro en paralelo o de generador aislado para los sistemas de frecuencia constante (380 a 420 c.p.s.).

PANEL AUTOMATICO DE C.A. EN PARALELO

Este sistema es esencialmente el mismo que el panel básico, con la excepción de que se le han agregado las funciones necesarias para que proporcione la paralelización automática.

PANEL DE C.A. OPTIMO

Este es un panel en paralelo automático que reúne todas las funciones consideradas necesarias para un funcionamiento en paralelo o de generador aislado completamente seguro en los sistemas de frecuencia constante. Las funciones automáticas de este sistema son de tal naturaleza que no requieren más que un mínimo de atención del personal de a bordo. A este panel puede agregársele equipo complementario, pero es dudoso que las ligeras ventajas que ofrece justifiquen la adición.

	PANEL DE C.A. PRIMITIVO	PANEL BASICO DE GENERADOR DE C.A. AISLADO	PANEL DE GENERADOR DE C.A. AISLADO	PANEL BASICO DE C.A. EN PARALELO	PANEL AUTOMATICO DE C.A. EN PARALELO	PANEL DE C.A. OPTIMO
1. Relevador de control del generador	●	●	●	●	●	●
(a) Operación irreversible		●	●	●	●	●
(b) Cierre y disparo eléctricos a distancia	●	●	●	●	●	●
2. Excitación inicial del campo		●	●	●	●	●
3. Protección de sobretensión		●	●	●	●	●
4. Enclavamiento de sobretensión		●	●			
5. Protección contra sobre y subexcitación				●	●	●
6. Protección contra fallas del generador y alimentadores	●		●	●	●	●
7. C.C. auxiliar			●	●	●	●
8. C.C. de emergencia						●
9. Indicación de potencia del generador				●	●	●
10. Protección contra velocidad insuficiente					●	●
11. Paralelización automática					●	●
12. Protección contra disparidad de frecuencia			●			●
13. Relevador de secuencia de fases						●
14. Protección de fase abierta						●
15. Protección de potencia invertida						●
16. Protección de la excitatriz	●					
17. Relevador de secuencia de fases inversa						●
18. Bandeja de montaje de expulsión rápida			●	●	●	●
19. Montaje atornillado		●				
20. Dimensiones aproximadas (pulgadas)	12x14x7*	6x10x5	8x10x5	6x18x4	6x18x5	6x20x5
21. Peso aproximado (libras)	20*	6	7	7	8	11

*Incluyendo el regulador de voltaje del generador

alimentar las barras principales, o puede hacerse funcionar aisladamente cualquier generador y su barra colectora. En caso de averías en las funciones de distribución de carga o en la barra paralela, todos los generadores pueden funcionar aisladamente, alimentando cada uno su propia barra colectora.

Los generadores de c.a. son accionados generalmente por los motores principales del aeroplano, bien directamente o por medio de turbinas movidas por aire derivado de los motores a reacción. Existen numerosas instalaciones de energía eléctrica de aviones en las cuales la frecuencia del generador varía en proporción con la velocidad del motor. Sin embargo, cuando el equipo de utilización de la energía eléctrica es susceptible a las variaciones de frecuencia, como ocurre a menudo, hay que usar dispositivos de frecuencia constante entre los motores y los generadores. Desde luego, se necesitan transmisiones de velocidad constante si se quiere que los generadores funcionen en paralelo. Muchas veces es preferible el funcionamiento aislado de los generadores al funcionamiento en paralelo, por su control menos complicado y por la eliminación de los requisitos de equilibrio entre las cargas reactiva y real. Con todo, muchas veces la operación aislada no es práctica en instalaciones grandes, por la necesidad de barras colectoras de carga múltiple y la complicación de los arreglos que hay que hacer para la transferencia de carga con el fin de asegurarse de que siempre habrá energía disponible para las cargas esenciales.

Proyecto del panel de control

Todos los factores anteriores se deben tener en consideración para determinar el grado de control y protección que es necesario para una aplicación determinada. Después viene la selección de los componentes que realizan mejor las funciones que exige el sistema. El cuadro de la página 3 indica las funciones de control y protección comprendidas en un panel típico. Este cuadro no es más que una guía. En la Fig. 2 se ve un panel de control de c.a. que es parte de un sistema típico.

Relevador de control del generador—El generador de c.a. se controla por un relevador de control de generador (GC) mediante un juego de contactos en serie con el arrollamiento inductor del generador. Este relevador es generalmente del tipo de enclavamiento con una bobina de cierre y otra de disparo. El relevador de tipo de enclavamiento permanece en posición si falla la c.c. de control, lo que evita una pérdida simultánea de la c.a., y tiene una capacidad de interrupción mayor si se necesita cortar las grandes corrientes y los voltajes de excitación que se encuentran cuando hay avería. Este relevador también acciona cierto número de contactos auxiliares, usados con fines de enclavamiento.

Los relevadores de control de generador son, en general, eléctrica y mecánicamente irreversibles o anticíclicos. Esto significa que si la bobina de cierre recibe energía continuamente y se aplica una señal a la bobina de disparo, el relevador se dispara y permanece abierto. Sin esta característica, el relevador alternaría entre ciclos abiertos y cerrados hasta destruir parte del sistema.

Los relevadores de control de generador pueden estar dotados de mecanismos de reposición eléctricos o mecánicos. El mecánico es útil si se desea c.a. cuando no se dispone de c.c. de control. Sin embargo, pocas veces están los paneles de control situados donde puede lograrse el cierre mecánico en vuelo, lo que limita su utilidad. El dispositivo de reposición eléctrico permite la operación fácil por control a distancia.

El relevador de control de generador es un componente esencial de todo tipo de sistema de energía eléctrica de aviación. Controla la excitación del generador y, por lo tanto, se conecta para que dispare cuando ocurre una falla en el generador o el regulador. Generalmente se usa un contacto en el relevador para disparar el interruptor del generador cada vez que se abre su circuito de excitación.

Excitación inicial del campo—Los circuitos de excitación inicial del campo se emplean en los sistemas de generadores de c.a. de autoexcitación para asegurarse de que el generador produzca corriente al cerrar su circuito de excitación. Por lo general no hay problema, porque en las piezas polares queda suficiente flujo remanente (magnetismo) para hacer que el generador funcione normalmente. Sin embargo, ese flujo puede perderse por varias circunstancias. Un generador que no se haya usado en mucho tiempo o haya estado sujeto a los golpes del embarque puede no tener el magnetismo remanente necesario. Igualmente, circunstancias de ambiente, incluso el vapor del combustible de aviación, pueden provocar la formación de una película sobre los conmutadores y los anillos colectores, lo que impedirá el paso de corriente. Los voltajes de la excitación inicial del campo deben ser suficientes para anular cualquiera de estos inconvenientes.

El circuito de excitación inicial del campo puede consistir meramente en una conexión de la alimentación de voltaje de

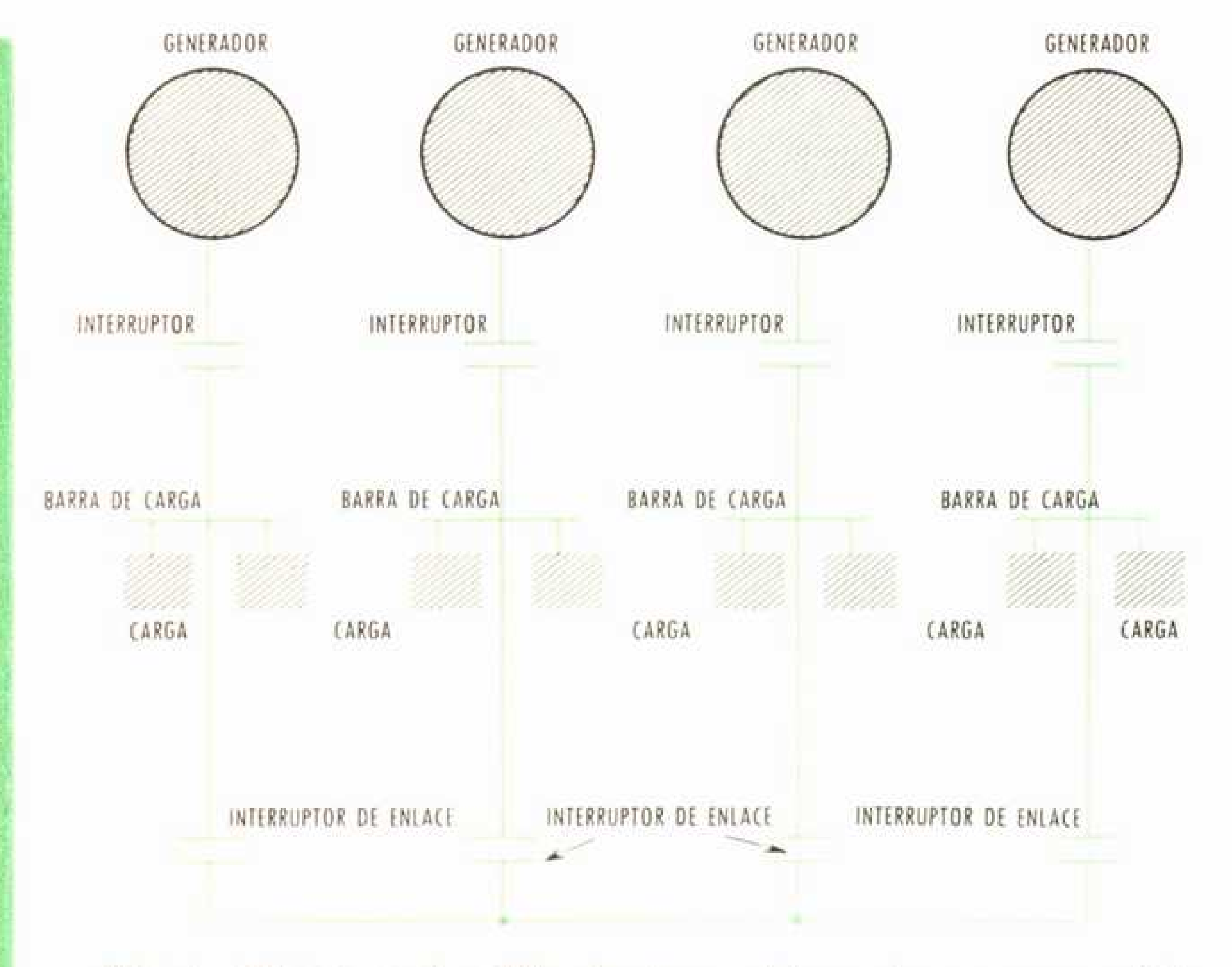
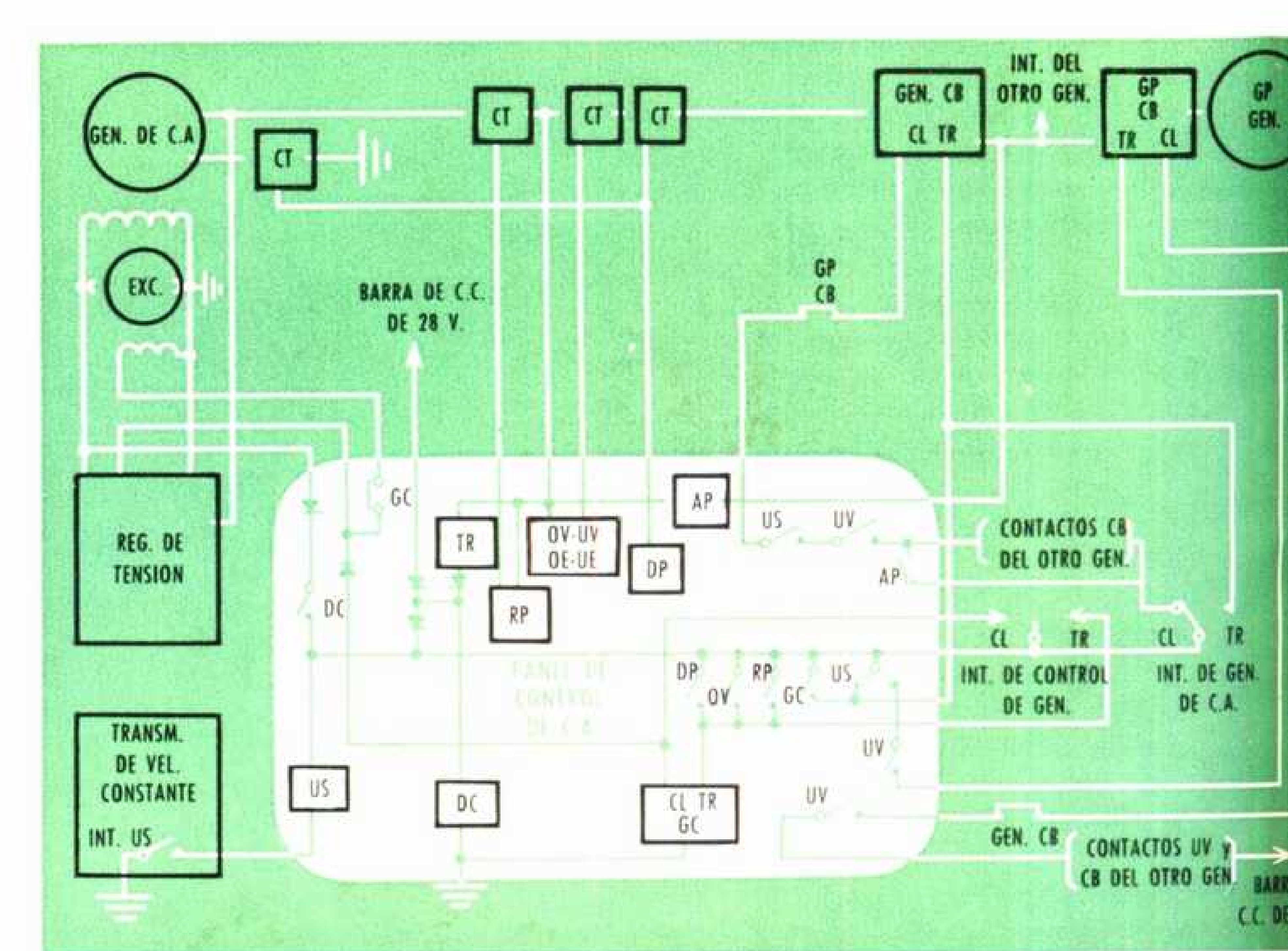


Fig. 1—Diagrama simplificado de un sistema de c. a. en paralelo.



c.c., por medio de una resistencia y un juego de contactos de control del generador, con el campo de excitación. Esta conexión significa que la excitación inicial del campo se logra cada vez que se cierra el relevador. Los sistemas de control automático dejan los contactos del campo cerrados en todo momento, excepto cuando hay una avería; por lo tanto, si un generador no desarrolla corriente al arrancar normalmente, el relevador debe ser disparado y cerrado para lograr la excitación inicial del campo.

Protección contra sobretensión—Las cargas conectadas al generador de c.a. están calculadas para funcionar a cierto voltaje máximo y cierta frecuencia mínima. El relevador de sobretensión (OV) protege estas cargas de un alto voltaje sostenido, pero permite el paso de las sobretensiones transitorias normales. Los daños causados por el voltaje superior al normal son debidos mayormente al calor que éste pueda producir, el cual depende del tiempo y voltaje: cuanto más alto sea el voltaje, menos tiempo podrá resistirlo el equipo. Por eso, el relevador de sobretensión debe tener una característica inversa de tiempo y voltaje. Antes de llegar al punto peligroso, el relevador abre el circuito inductor del generador.

El relevador de sobretensión percibe generalmente el valor medio del voltaje trifásico rectificándolo y obteniendo un voltaje de c.c. Con este tipo de sensibilidad, el contacto a tierra de una sola fase, que hace aumentar por lo menos el voltaje de una de las otras dos fases, no acciona el relevador. Si el relevador no percibiese más que el voltaje de una fase, funcionaría al fallar una sola fase y no permitiría que el daño desapareciese de por sí.

La protección contra la sobretensión es quizá la más esencial en cualquier sistema de energía eléctrica para aviación. No sólo protege el generador y el sistema de control sobreexcitados, sino que protege de daños las cargas conectadas.

Enclavamiento de sobretensión—El relevador de cierre de sobrecarga (OL) se usa frecuentemente cuando se necesita neutralizar el voltaje transitorio que ocurre mientras el generador comienza a producir corriente. En sistemas de un solo generador y amplia zona de velocidad, este voltaje transitorio puede ser muy grande en el extremo superior de la zona de velocidad. El relevador de sobretensión ordinario puede dispararse con este voltaje transitorio, haciendo necesaria esta demora por un tiempo extra en algunos sistemas. Un relevador de retardo activado por un contacto de relevador de control de generador mantiene abierto el circuito del relevador de sobretensión durante una fracción de segundo para eliminar el voltaje transitorio. Una vez que el sistema está funcionando, el relevador de enclavamiento de sobretensión no influye en la función del relevador de sobretensión.

Protección contra sobreexcitación y subexcitación—Cuando dos o más generadores de c.a. funcionan en paralelo, los problemas de control y protección se hacen más complicados. El circuito que mide el voltaje del relevador de sobrecarga o un relevador de voltaje insuficiente muestran el promedio de los voltajes generados por las máquinas en paralelo y, por lo tanto, no puede determinar qué máquina está sobre o subexcitada. Esta protección puede obtenerse midiendo la corriente reactiva que fluye a consecuencia del desequilibrio de la excitación y usando esta señal para polarizar los relevadores de voltaje insuficiente o excesivo. Esta polarización desorienta los relevadores, de modo que en sistemas de generador sin falla muestran voltajes de línea normal, mientras que en el sistema de la máquina defectuosa perciben un voltaje que es demasiado alto o demasiado bajo, según sea el tipo de la falla.

El relevador de sobretensión ya ha sido descrito. El relevador de voltaje insuficiente es también de percepción de voltaje, pero con un relevador de tiempo para permitirle neutralizar los bajos voltajes transitorios de paro de máquinas y de otras clases. Este relevador debe tener una diferencial de operación muy estrecha. Es decir, que su caída debe estar muy próxima a su reacción, porque para tener eficacia debe abrirse aproximadamente con un descenso de voltaje de diez por ciento y reaccionar antes de llegar al voltaje normal.

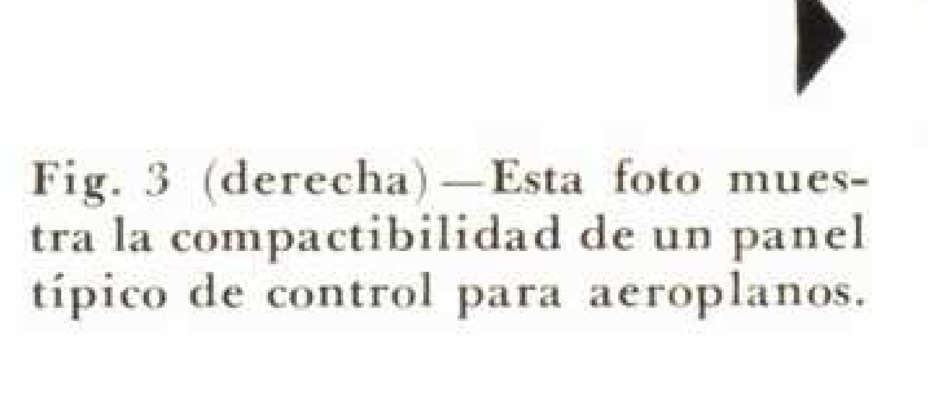
La protección de la subexcitación y la sobreexcitación es necesaria en cualquier sistema de generadores en paralelo en que el objetivo es tener energía no interrumpida en las barras de carga. Cuando una avería hace que un generador se subexcite o sobreexcite, este tipo de protección descubre y separa ese generador del sistema, mientras que al propio tiempo envía energía continua a las barras de carga.

Protección contra fallas del generador y alimentadores—El generador de c.a. y sus alimentadores están protegidos en casos de falla de línea a línea, o de línea a tierra, por relevadores de medición de corriente diferencial. Los transformadores de corriente están situados en forma tal que cualquier diferencia apreciable de la corriente que entra en las conexiones neutras del generador y de la que pasa por los contactos de los inte-

LEYENDA

GC—Relevador de control de generador
DP—Relevador de protección diferencial
RP—Relevador de potencia invertida
DC—Relevador de energía C.C.
US—Relevador de velocidad insuficiente
UV—Relevador de tensión insuficiente
OV—Relevador de sobretensión
OE-UE—Protección contra sobreexcitación y subexcitación
TR—Rectificador de transformador
AP—Relevador de paralelización automática
GP—Energía de tierra
CB—Interruptor
CT—Transformador de corriente

Fig. 2 (izquierda)—El panel de control de c.a. como parte de un sistema típico. La leyenda a la izquierda explica los principales componentes de este sistema.



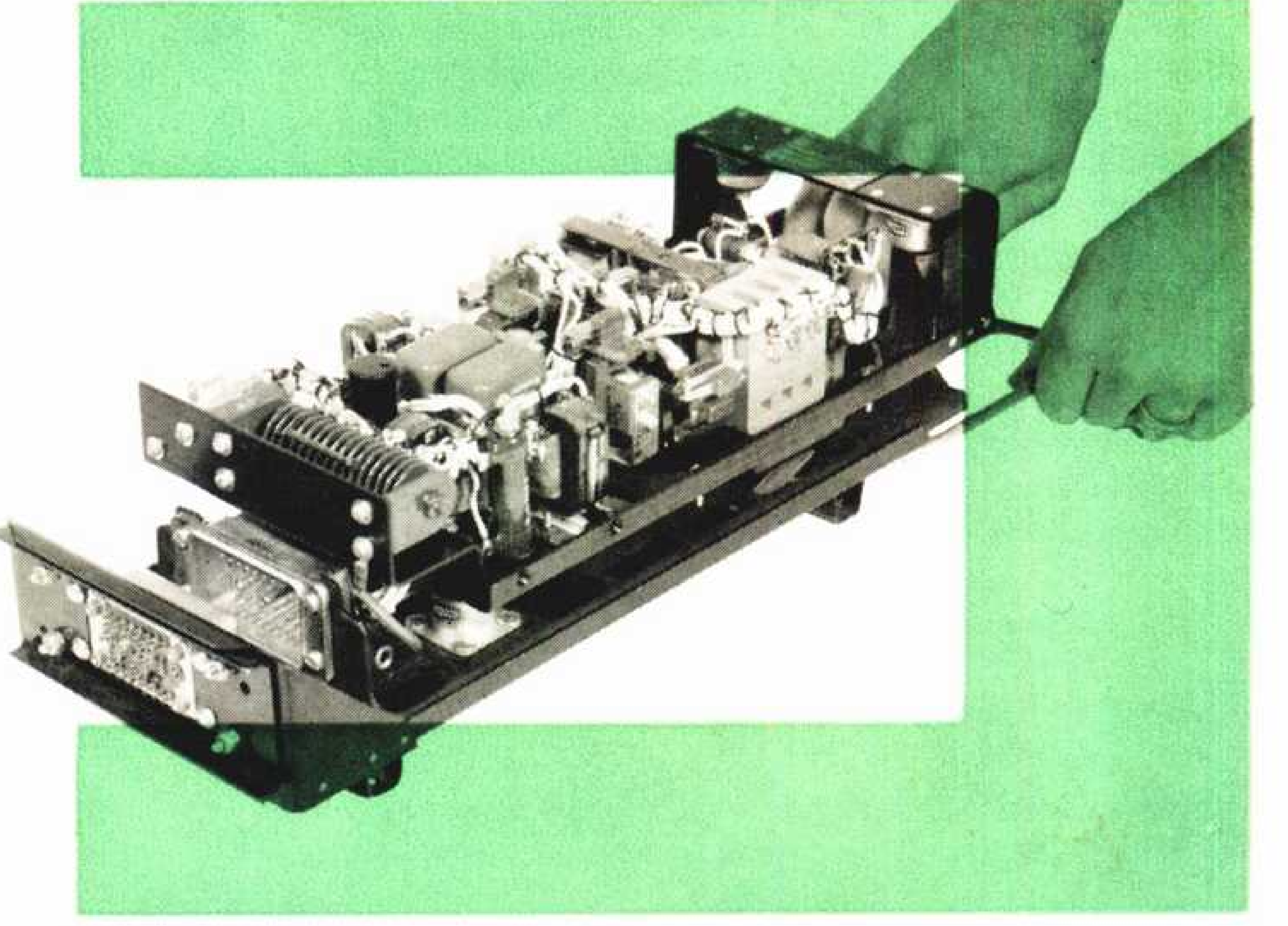


Fig. 3 (derecha)—Esta foto muestra la compactibilidad de un panel típico de control para aeroplanos.

rruptores de circuito, indica una falla entre ambos sitios y hace funcionar el relevador de protección diferencial (DP), disparando el relevador de control del generador. Para los sistemas que tienen largos alimentadores del generador, se necesitan dos transformadores de corriente por fase, uno en el punto de tierra de la conexión neutra y otro en el interruptor de circuito. Para alimentadores cortos, ambos extremos de cada fase de bobinado del generador pasan por el mismo transformador.

La protección diferencial es necesaria en cualquier sistema de generador en que es recomendable proteger contra fallas el generador y sus alimentadores. La zona protegida termina generalmente en el interruptor de circuito del generador porque las cargas de las barras ómnibus están protegidas por limitadores que desconectan solamente las cargas afectadas.

Un relevador de tensión insuficiente (UV) indica las fallas del generador, el alimentador y las barras ómnibus en los sistemas de un solo generador. Sin embargo, no puede esperarse de él la percepción de la protección diferencial. Tiene sobre el relevador de protección diferencial la ventaja de que cuando se usa con un relevador de sobretensión (OC), que percibe la corriente en el interruptor de circuito del generador, puede indicar tanto las fallas del alimentador del generador como las de las barras ómnibus. De este modo, el funcionamiento del relevador de tensión insuficiente por sí solo indica que hay una falla en el generador o en el alimentador de éste, y el funcionamiento combinado de los relevadores indica una avería de las barras ómnibus. El relevador de tensión insuficiente también indica cuando hay una fase abierta. Sin embargo, las cargas de cualquier sistema en que se use sensibilidad a la tensión insuficiente deben ser de una especie que no mantenga el voltaje en la fase que tiene falla o esté abierta.

Corriente auxiliar continua—Los relevadores de aviación, los contactores y los interruptores tienen generalmente imanes y solenoides de c.c. porque los dispositivos de c.c. constituyen los componentes más pequeños, más livianos y más eficaces. Esto hace necesaria alguna fuente de c.c. de 28 voltios. Generalmente, esta energía la proporcionan el generador de c.c. o un acumulador, o ambos a la vez. Como protección suplementaria en caso de falta de este suministro, es recomendable tener una pequeña fuente de energía de c.c. instalada en el panel de control. Esta consiste en una unidad de transformador y rectificador (unidad T-R) de capacidad suficiente para suministrar la energía de control necesaria para su propio panel de control, y el interruptor correspondiente.

Corriente continua de emergencia—Otra fuente de c.c. que puede utilizarse es la excitatriz del generador de c.a. de autoexcitación. Ciertas clases de fallas pueden hacer que la producción de la unidad T-R llegue a bajar demasiado, y si al mismo tiempo no se dispone de corriente continua del motor del aeroplano, la excitatriz es la única fuente de c.c. Puede hacerse que un relevador de c.c. (DC) conecte los terminales de la excitatriz con la bobina de disparo del relevador de control del generador cuando existan estas condiciones.

Indicador de potencia del generador—Para lograr la secuencia adecuada de las operaciones de un sistema automático y hasta semiautomático de control de generador deben medirse e indicarse ciertas cantidades. Una de éstas es la producción de voltaje del generador, que se mide con el relevador indicador de potencia (PI). Un contacto de este relevador se usa para cortar el suministro de corriente en tierra y usar la que produce el aeroplano. Otro contacto se usa en el circuito de la bobina de cierre del interruptor para impedir que el generador del aeroplano asuma la carga mientras su producción no haya llegado al valor adecuado.

Protección contra velocidad insuficiente—Otra de las cantidades que se miden es la velocidad de rotación o frecuencia del generador. El relevador de velocidad insuficiente (US) funciona mediante una señal de la transmisión mecánica de velocidad constante, y puede indicar una pérdida de presión hidráulica en la transmisión, aunque por lo general indica un caso real de baja velocidad. Igual que ocurre en el caso del relevador indicador, los contactos del relevador de velocidad insuficiente pueden usarse para cortar el suministro de corriente en tierra y cerrar el interruptor del generador. Estos contactos se usan normalmente en serie con los del relevador indicador de potencia, por lo que tanto el voltaje como la frecuencia deben ser los precisos antes de que las cargas se transporten del suministro de potencia de tierra al aeroplano.

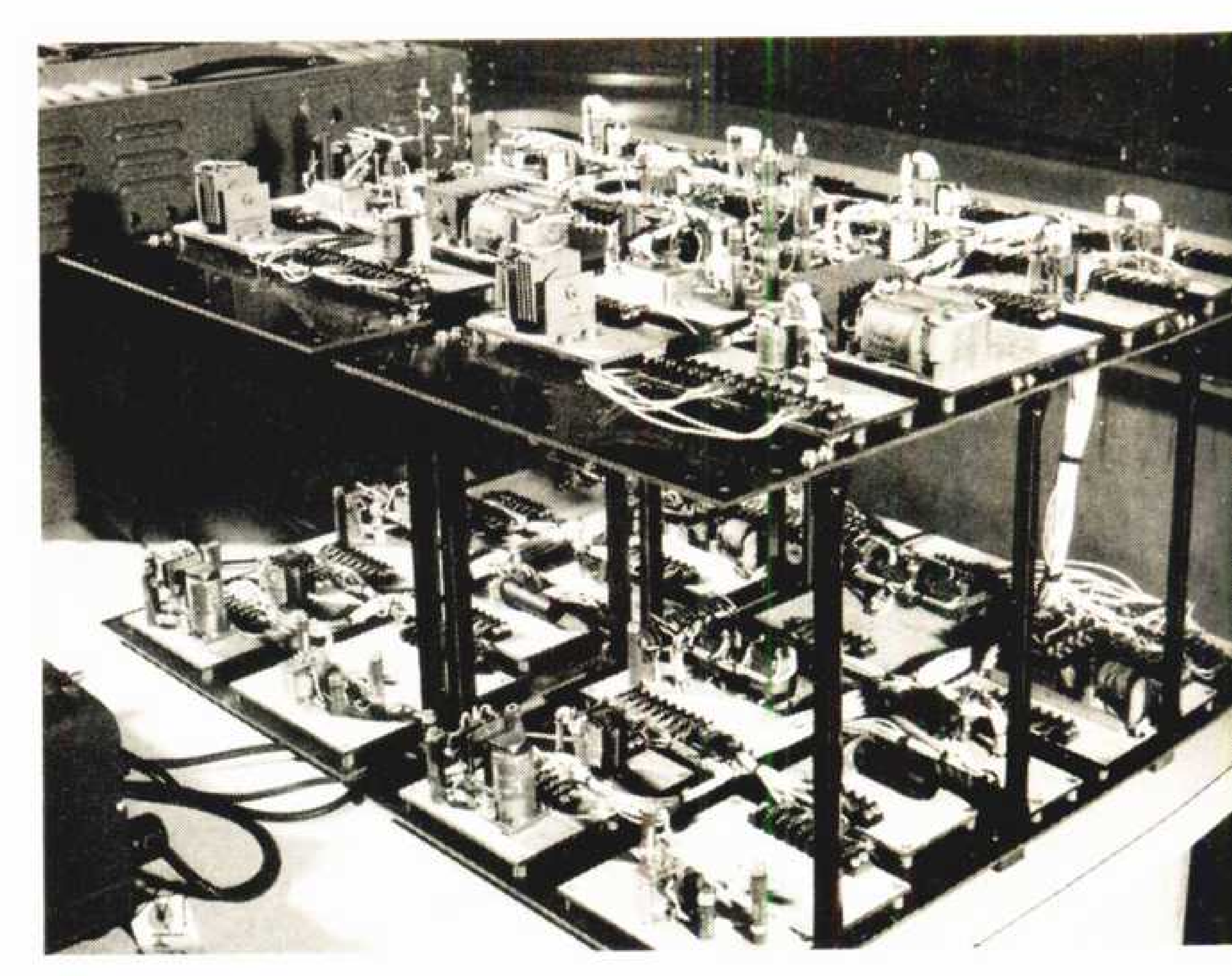


Fig. 4—Conjuntos de control completos, consistentes en grupos individuales de componentes, se prueban en un circuito de c.a.

Paralelización automática—El relevador de paralelización automática (AP) compara el voltaje y el ángulo de fase del generador con el voltaje y el ángulo de fase de las barras ómnibus, y cierra sus contactos cuando las condiciones son favorables para el funcionamiento en paralelo. Se necesita un relevador de paralelización automática para cada generador del sistema porque el funcionamiento en paralelo se logra generalmente con el interruptor del generador más que con el uso de una barra ómnibus sincronizadora. El relevador de paralelización está enclavado con el relevador de velocidad insuficiente e indicador de potencia para que el primer generador del sistema que alcance la velocidad y el voltaje debidos quede conectado inmediatamente, mientras que los restantes generadores han de conectarse por medio de los contactos del relevador de paralelización. Este relevador es necesario en cualquier sistema en paralelo que requiera una operación completamente automática. La paralelización al azar de los generadores de c.a. es posible sin aparente daño para la sección generadora del sistema. Sin embargo, el efecto final de las corrientes transitorias de voltaje y potencia resultantes de la paralelización defasada no se considera que vale la economía lograda al omitir un pequeño circuito de relevadores.

Protección contra disparidad de frecuencia—El relevador de frecuencia percibe la frecuencia de la producción de voltaje del generador de c.a. Hay dos tipos de este relevador en uso corriente: un relevador de frecuencia insuficiente (UF), que

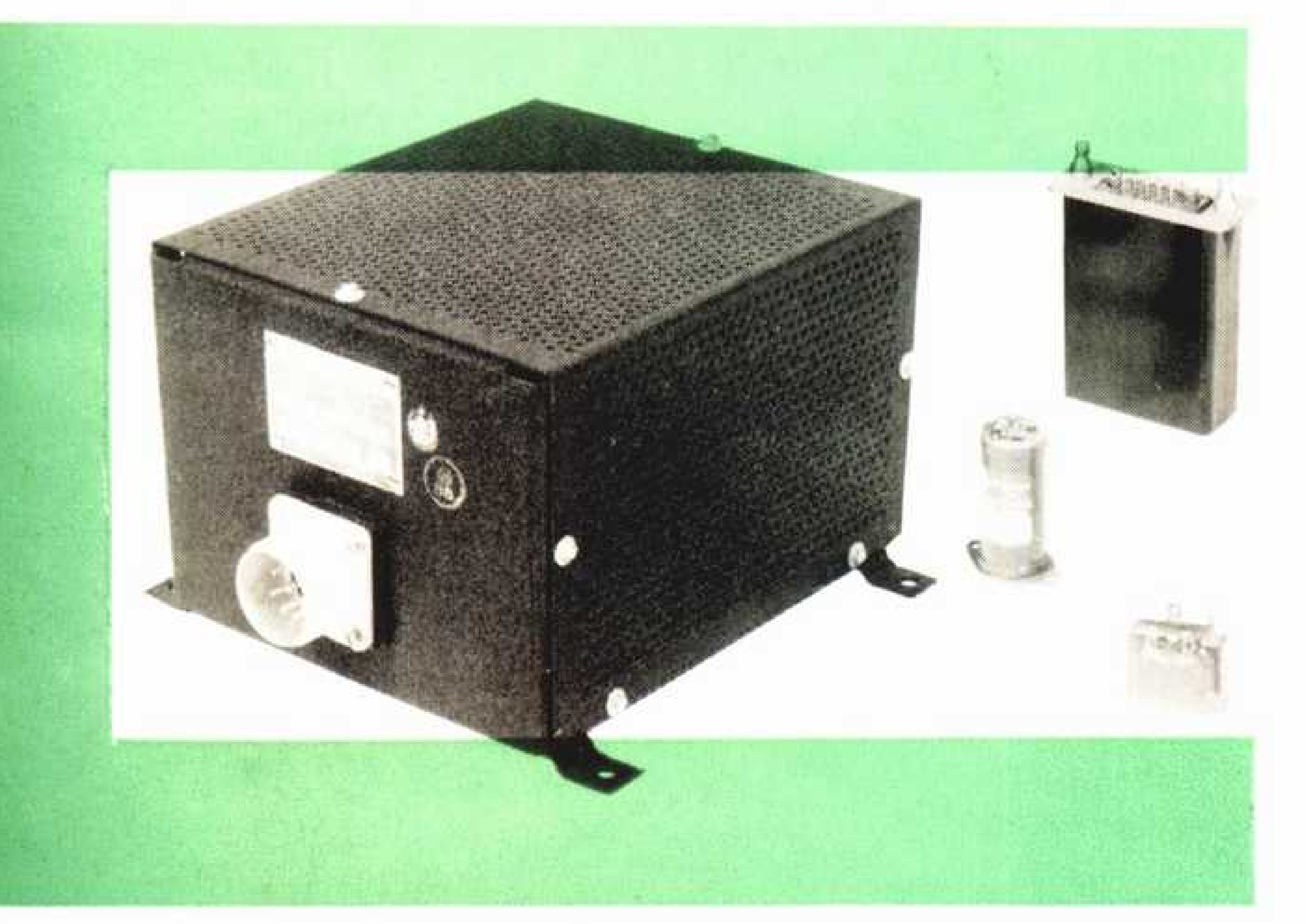
abre el interruptor o meramente enciende una luz indicadora cuando baja al límite de peligro la frecuencia de la corriente, y un relevador de disparidad de frecuencia (OF), que opera a ambos lados de la frecuencia nominal de funcionamiento.

El relevador de frecuencia insuficiente y el de velocidad insuficiente son ligeramente distintos en su aplicación. El primero se usa comúnmente en los sistemas de un solo generador, que son por lo general sistemas de un amplio radio de velocidad, y cuyas cargas necesitarán por lo tanto protección mientras el motor esté parado o funcionando con el avión inmóvil. El relevador de velocidad insuficiente recibe la corriente por medio de un conmutador de la transmisión de velocidad constante, y por lo tanto sólo es aplicable en los sistemas en paralelo de velocidad constante. El relevador de disparidad de frecuencia se usa en los sistemas de velocidad constante para indicar desviaciones de frecuencia que pueden causar errores de calibración en el equipo de carga.

Relevador de secuencia de fases—Puede usarse un relevador de secuencia de fases (PS) para impedir que el interruptor haga funcionar con la barra ómnibus de carga un generador conectado defectuosamente. El uso de este tipo de protección es puramente arbitrario, pues depende del constructor de la estructura y la aplicación de ésta. La rotación con fases invertidas sólo puede resultar si se conecta inadecuadamente un generador de c.a. al instalarlo, o si dos de las tres conexiones de fase se cambian entre sí accidentalmente en un panel de potencia o en un cuadro terminal principal.

Protección de fase abierta—Puede obtenerse protección en caso de una fase abierta en el sistema del generador mediante la adición de circuitos al relevador de secuencia de fases. Las corrientes de secuencia cero de la conexión neutra pueden medirse para que indiquen cuando se abre una fase. Si esta situación existe antes de que el generador funcione normalmente o esté en paralelo, se descubre fácilmente por medio de un relevador trifásico detector de voltaje medio, tal como el relevador de tensión insuficiente ya descrito. Después de conectarse los generadores en paralelo no puede descubrirse por este medio una fase abierta, y en consecuencia hay que usar un circuito especial de relevador como el descrito. La protección de fase abierta es conveniente en los sistemas en paralelo, cuyas cargas pueden fallar al funcionar monofásicamente.

Fig. 5—Los circuitos de transistores son una posibilidad futura. Abajo se ve un relevador de sobretensión actual y, a modo de comparación, las piezas de transistores que pueden reemplazarlo.



Protección de potencia invertida—El flujo de corriente real a un generador conectado en paralelo indica pérdida de parte de la potencia mecánica que impulsa ese generador. Para evitar esa pérdida puede usarse un relevador de potencia invertida (RP) con objeto de abrir el interruptor o indicar la inversión de potencia. En este dispositivo debe incluirse un retardo de tiempo corto para que no actúe al paso de corrientes transitorias de transferencia de potencia.

La necesidad de una señal de potencia invertida es discutible. Las transmisiones de velocidad constante contienen embragues de desacoplamiento automático y, por consiguiente, la cantidad de potencia real invertida que es necesaria para hacer funcionar el generador en caso de una rotura del árbol de transmisión es pequeña. Sin embargo, en algunos casos se justifica este dispositivo si existe la posibilidad de que las fallas puedan reducir la rotación de un generador y causar una pérdida excesiva de potencia real del sistema.

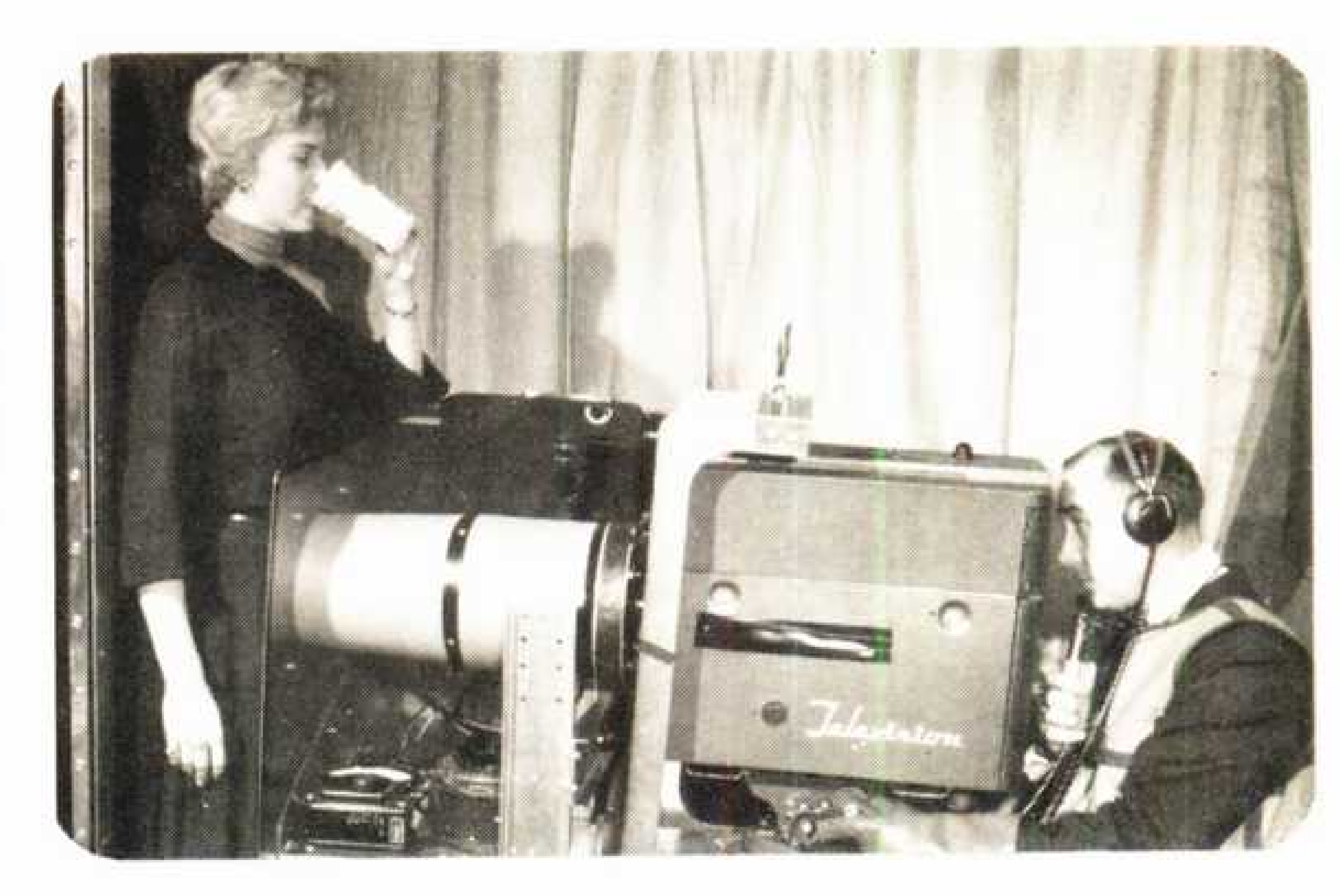
Protección de la excitatriz—En casos de sobrecarga o avería, la excitatriz del generador puede llegar a condiciones máximas de voltaje y corriente. Esta situación no debe permitirse continuadamente, y hay que evitarla. El relevador de protección de la excitatriz (EP) ofrece esta protección midiendo el voltaje de c.c. de la excitatriz en una forma muy parecida a aquella en que el relevador de sobretensión mide la producción de voltaje de c.a. Un dispositivo de retardo térmico da al relevador una característica inversa de tiempo-voltaje para que no lo afecten las corrientes transitorias. El voltaje medido en la excitatriz, que representa una situación de peligro, no es lo suficientemente constante entre un generador y el siguiente para hacer posible el uso del relevador de protección de la excitatriz como protección contra sobrecarga.

El relevador de sobretensión en los sistemas de un solo generador y la protección de sobreexcitación en los sistemas en paralelo dan protección análoga y son preferibles por proporcionar un medio mucho más directo de indicar una falla. Además, estos dispositivos son sencillos y sirven para otros propósitos en circunstancias diferentes.

Relevador de secuencia de fases inversa—Puede usarse un relevador de secuencia de fases inversa (NS) para la protección contra fallas en la barra colectora en los sistemas de generadores múltiples que utilizan una barra de interconexión. Este relevador percibe los voltajes trifásicos de la barra de interconexión por sus componentes de secuencia inversa. Cualquier magnitud apreciable de voltaje de secuencia inversa indica contacto a tierra en la barra, y esta señal se usa para disparar todos los interruptores de la barra de interconexión. Si la avería ocurre en esa barra el sistema continúa funcionando como un grupo de sistemas de generador aislado. Si la avería está en la barra de carga, el relevador de secuencia de fases inversa aísla el sistema averiado y permite que el resto del sistema continúe funcionando en forma de generador aislado, perdiendo solamente las cargas que afecte la falla. Si la falla está en un generador o sus alimentadores, el relevador de protección diferencial la eliminará antes de que funcione el relevador de secuencia inversa.

Proyectos con un sistema de c.a.

Después de determinar los componentes que se han de usar en un panel de control y protección, es muy conveniente comprobar las funciones del sistema. En la página 2 se muestra el panel de control y medición para un modelo completo de cuatro generadores. Este instrumento de prueba ha sido ideado para proporcionar flexibilidad absoluta en la imitación de cualquier tipo de sistema eléctrico para aviones que requieren de uno a cuatro generadores.



Este modelo experimental del Video Fluorex se mostró por vez primera al cuerpo médico, en circuito de televisión cerrado, en 1953.

Películas y televisión de rayos X

D. H. Steinweg
Sección de Productos, División de Rayos X
Westinghouse Electric Corporation, Baltimore, Md.

Recientemente se efectuó en una sala de conferencias de Baltimore un acontecimiento de significación histórica cuando un grupo de médicos que veían una película observaron en el organismo humano movimientos cuya existencia no sospechaban.

Lo que estaban viendo no era una película cualquiera. Se trataba de una película de rayos X del velo del paladar de un paciente, impresionada mientras pronunciaba vocales. Cada movimiento de la mandíbula había sido registrado en la película de 16 mm. al mismo tiempo que se hacía al paciente un examen fluoroscópico. Sentados tranquilamente en la sala de proyección después del reconocimiento, los doctores pudieron estudiar los movimientos del velo del paladar al "golpear" éste la parte posterior de la garganta, cerrando el conducto nasal. En un paciente normal, esta acción de válvula impide que el aire se escape por el conducto nasal y produce sonidos naturales. Pero en los pacientes que tienen paladar hendido, el velo del paladar no cierra completamente este conducto, y para cerrarlo es necesaria una intervención quirúrgica o el uso de algún dispositivo que haga las veces de velo del paladar. Con las películas de rayos X, los médicos pueden estudiar detenidamente el movimiento del paladar y disponer las medidas que hay que adoptar para corregir ese defecto.



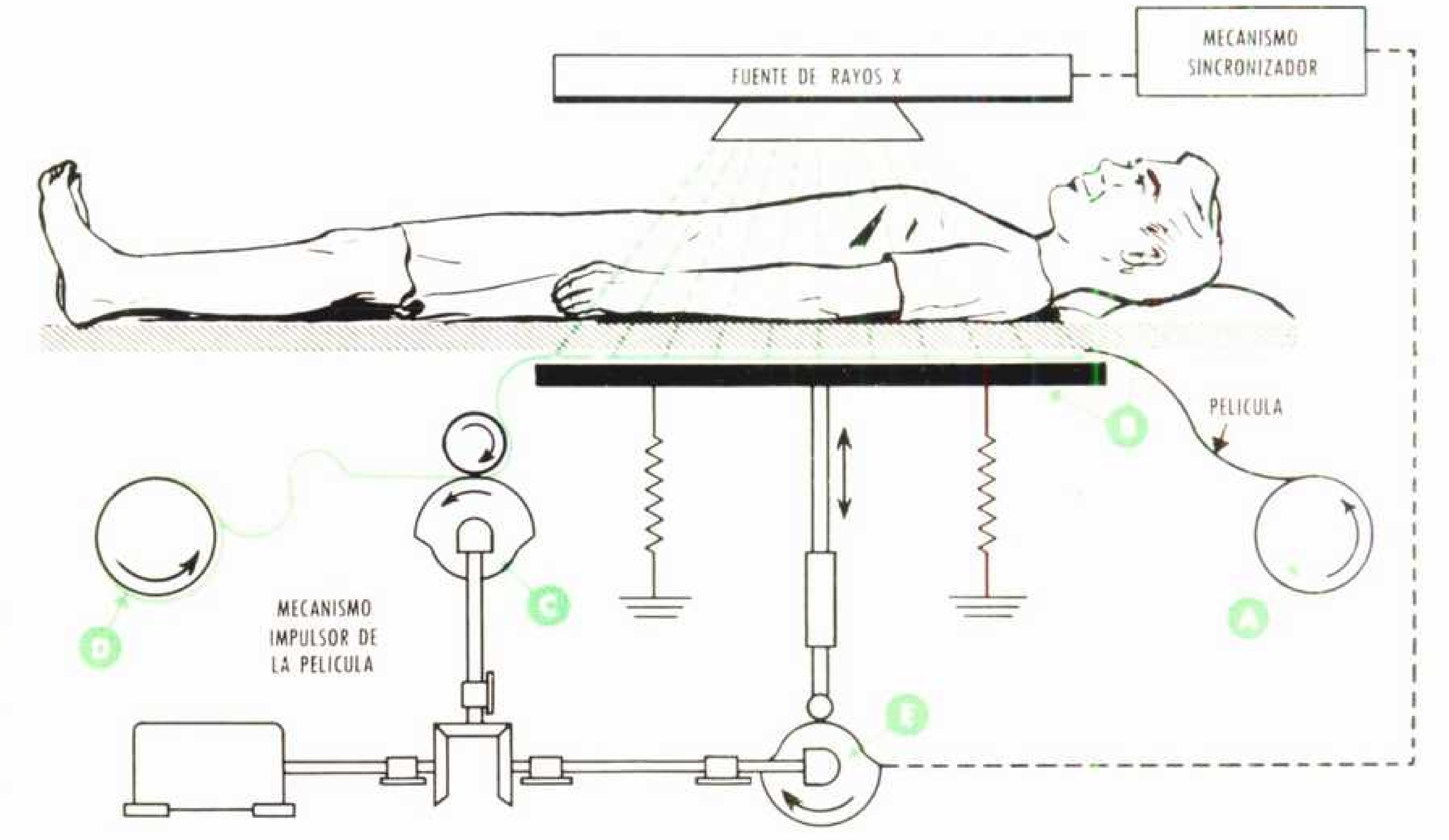


Fig. 1—Sistema de alimentación de película, para cinerradiografía. El mecanismo C, saca la película del carrete A. La película impresionada se arrolla en D. La excéntrica E comprime las películas entre las pantallas B en el instante de la exposición.

Necesidad de rayos X con movimiento

Esta es sólo una de las muchas aplicaciones posibles de las películas cinematográficas de rayos X cuando se dispone de un instrumento clínico. Con estas películas, los médicos pueden estudiar los rápidos movimientos del organismo humano. Por ejemplo, las palpitaciones del corazón de una criatura recién nacida pueden llegar hasta el número de 200 por minuto. Las criaturas que tienen una afección cardíaca congénita (que les produce cianosis) pueden ser examinadas y estudiadas con películas de rayos X, tomando éstas a razón de 30 cuadros por segundo en película de 16 mm; después, proyectando la película a una velocidad de 7.5 cuadros por segundo, puede

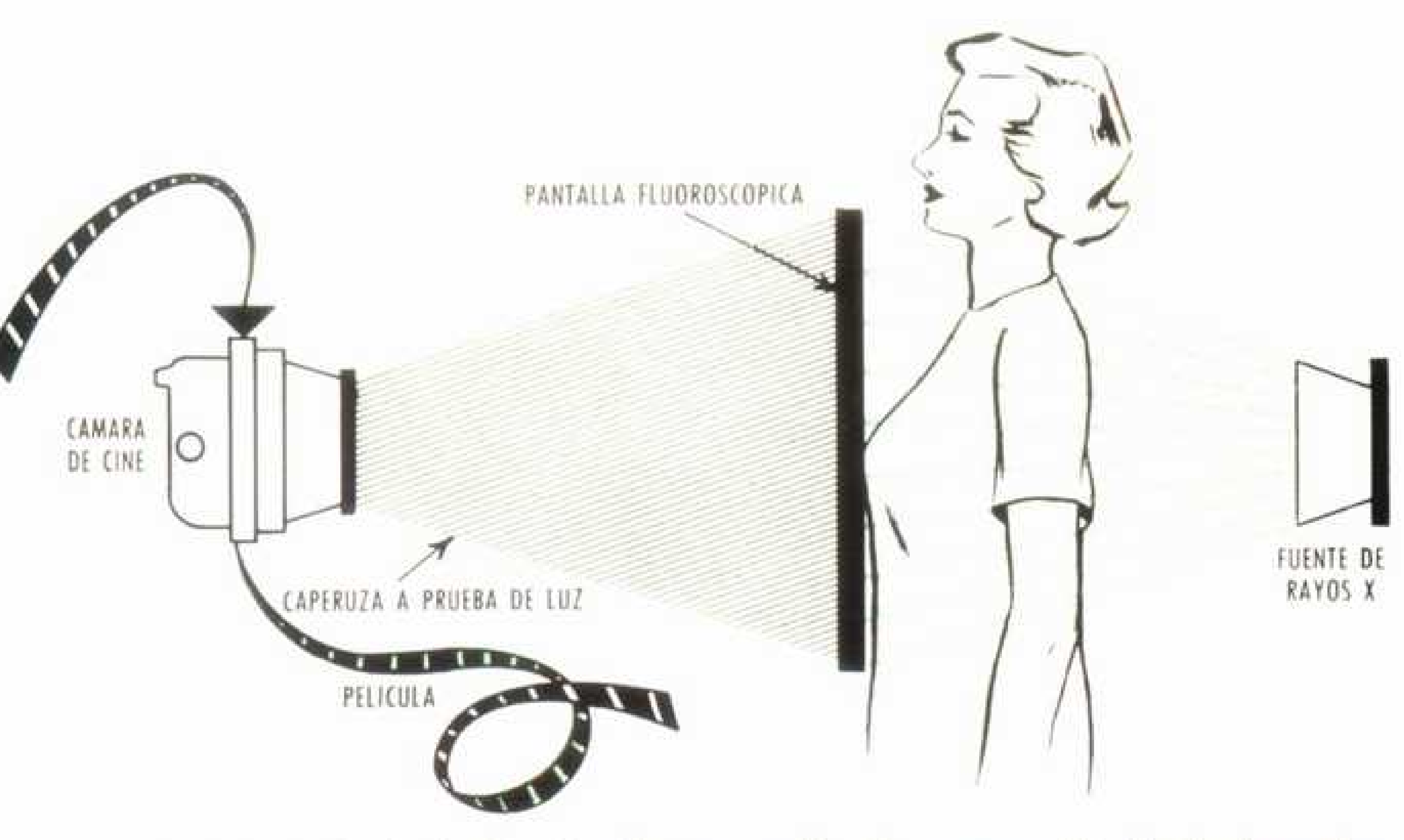


Fig. 2—Principio de cinefluorografía. Los rayos X, de la derecha, atraviesan el paciente y producen una imagen fluorescente en una pantalla encerrada en la caperuza. La imagen es captada por la cámara de la izquierda a velocidades de película cinematográfica.

mostrarse una palpitación aislada durante más de un segundo, lo que permite el estudio del corazón con movimiento retardado, y facilitar así el diagnóstico.

Para la industria, las películas de rayos X "retardan" el movimiento de las estructuras internas de funcionamiento rápido, lo que permite el estudio detallado de sus componentes dinámicos. Una unidad mecánica completa encerrada en metal puede estudiarse fácilmente en movimiento para descubrir sus puntos débiles. La operación de las partes móviles de los aeroplanos puede conservarse como documento permanente de inspección para un examen futuro en caso de fallas o averías.

Producción de películas cinematográficas de rayos X

La producción de las películas de rayos X no es cosa nueva. Un año después del descubrimiento de los rayos X en 1895, un médico escocés ideó una técnica conocida hoy con el nombre de *síntesis del movimiento de rayos X*. Este método consiste en hacer radiografías de un objeto en trozos separados de película, cambiando el objeto de posición en cada exposición sucesiva. Después, las fotografías individuales vuelven a retratarse en una película corriente, y se proyectan. (Ver la Fig. 1). Este método desempeña un papel importante en la producción ordinaria de películas y es hoy útil en las películas instructivas. Las de dibujos animados se producen precisamente en esta forma, reemplazando con un medio de iluminación el haz de rayos X.

Otro método de producción de películas de rayos X es la *cinerradiografía*. Esta consiste en la radiografía directa de una pieza móvil, utilizando para ello pantallas intensificadoras y película de rayos X. Básicamente, es una radiografía ordinaria repetida a velocidades de cine y con película de tamaño normal. Igual que ocurre en la síntesis del movimiento con los rayos X, la consiguiente serie de retratos separados tiene que volver a ser fotografiada en la película cinematográfica ordinaria. La cinerradiografía es distinta de la síntesis del movimiento con los rayos X, porque en esta última el operador puede detener el movimiento de cada cuadro y exponer cada parte a voluntad. Para producir películas cinerradiográficas, el equipo de rayos X debe ser capaz de producir grandes cantidades de energía radiográfica en el instante de la exposición. Además, se necesitan aparatos de transposición de películas voluminosos y de gran precio para producir películas (Fig. 1). Otra dificultad común tanto a la síntesis del movimiento de rayos X como a la cinerradiografía la constituyen las grandes cantidades de radiación que se necesitan.

Existe un tercer método de producción de películas de rayos X, llamado *cinefluorografía*, que consiste en retratar una pantalla fluoroscópica con una cámara cinematográfica. Este es el método indirecto. Se coloca al paciente frente a la pantalla fluoroscópica, que está encerrada en una caperuza que impide el paso de la luz. En el extremo opuesto de la caperuza se coloca una cámara cinematográfica para retratar la imagen sobre la pantalla (Fig. 2). Este método requiere un lente para poder enfocar la cámara sobre la pantalla. A causa del reducido factor de captación de luz por el lente y de las pérdidas de luz de éste, así como de las bajas intensidades de luz emitidas por la pantalla, se necesita una radiación considerable para obtener resultados satisfactorios. La exposición a la radiación puede reducirse con un lente de abertura grande, quizá hasta de f/0.68, y por la sincronización del generador de rayos X y la cámara para que el paciente reciba la radiación solamente cuando se abre el obturador de la cámara. Durante el paso de la película, cuando está cerrado el obturador, no se generan rayos X. En algunos experimentos fluoroscópicos, una producción de radiación de 100 miliamperios y 100 kilovoltios ha hecho necesario limitar el tiempo total de exposición a seis segundos.

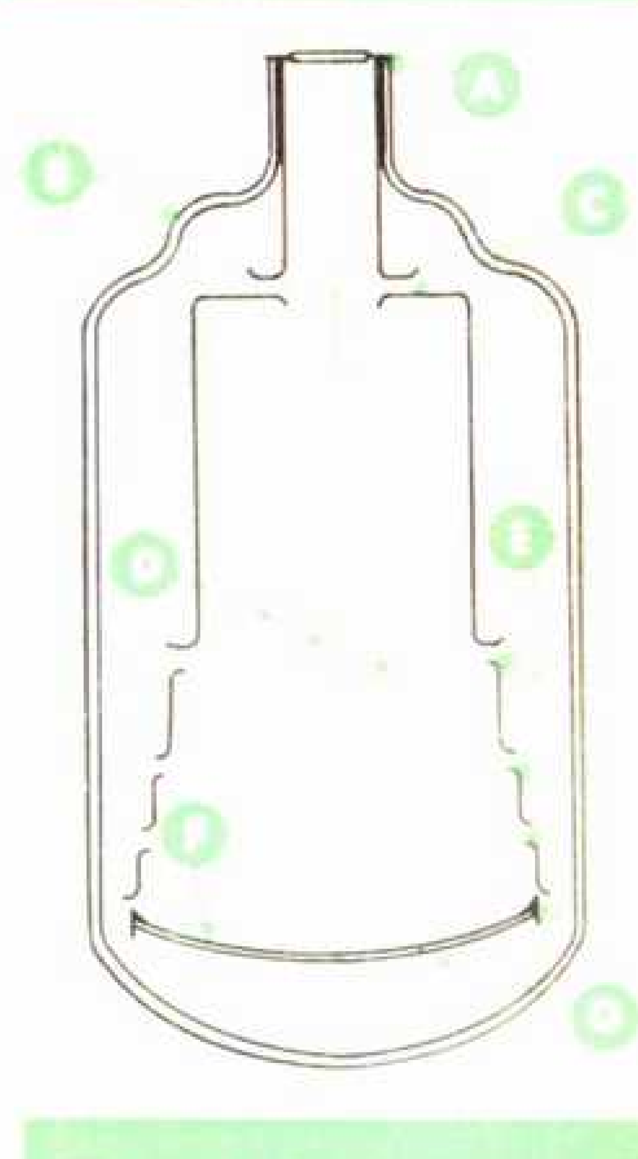
La fotografía de una pantalla fluroscópica es un problema difícil, por necesitarse de 14 a 20 veces más radiación que en el método directo y haber además una pérdida de detalle en la imagen. Por lo tanto, para proteger al paciente de una exposición excesiva a la radiación, la intensidad luminosa necesaria para producir un efecto fotográfico debe obtenerse de alguna fuente exterior de energía mediante un procedimiento de amplificación real, en lugar del aumento de la intensidad de los rayos X.

Hace unos 10 años, los hombres de ciencia de Westinghouse empezaron a crear un dispositivo para intensificar la luminosidad de las pantallas fluoroscópicas. Cuando se tiene en cuenta que el intensificador recientemente perfeccionado aumenta centenares de veces la intensidad luminosa de las pantallas fluoroscópicas, se ve inmediatamente la utilidad de tal dispositivo para la cinefluorografía.

Este sistema de intensificación utiliza un principio de tubo electrónico. En 1950 se pusieron en uso para fluoroscopia diagnóstica clínica prototipos de un intensificador de pantalla electrónica. Finalmente, en 1953

Fig. 3
INTENSIFICADOR DE IMAGENES FLUOREX

A CAPA FOSFORESCENTE SOBRE BASE DE ALUMINIO
B ENVOLTURA DE VIDRIO AL VACIO
C LENTE PRINCIPAL
D TRAYECTORIA TIPICA DE LOS ELECTRONI



E LENTES DEBILES
F SUPERFICIE FOTOELECTRICA
G PANTALLA FLUORESCENTE

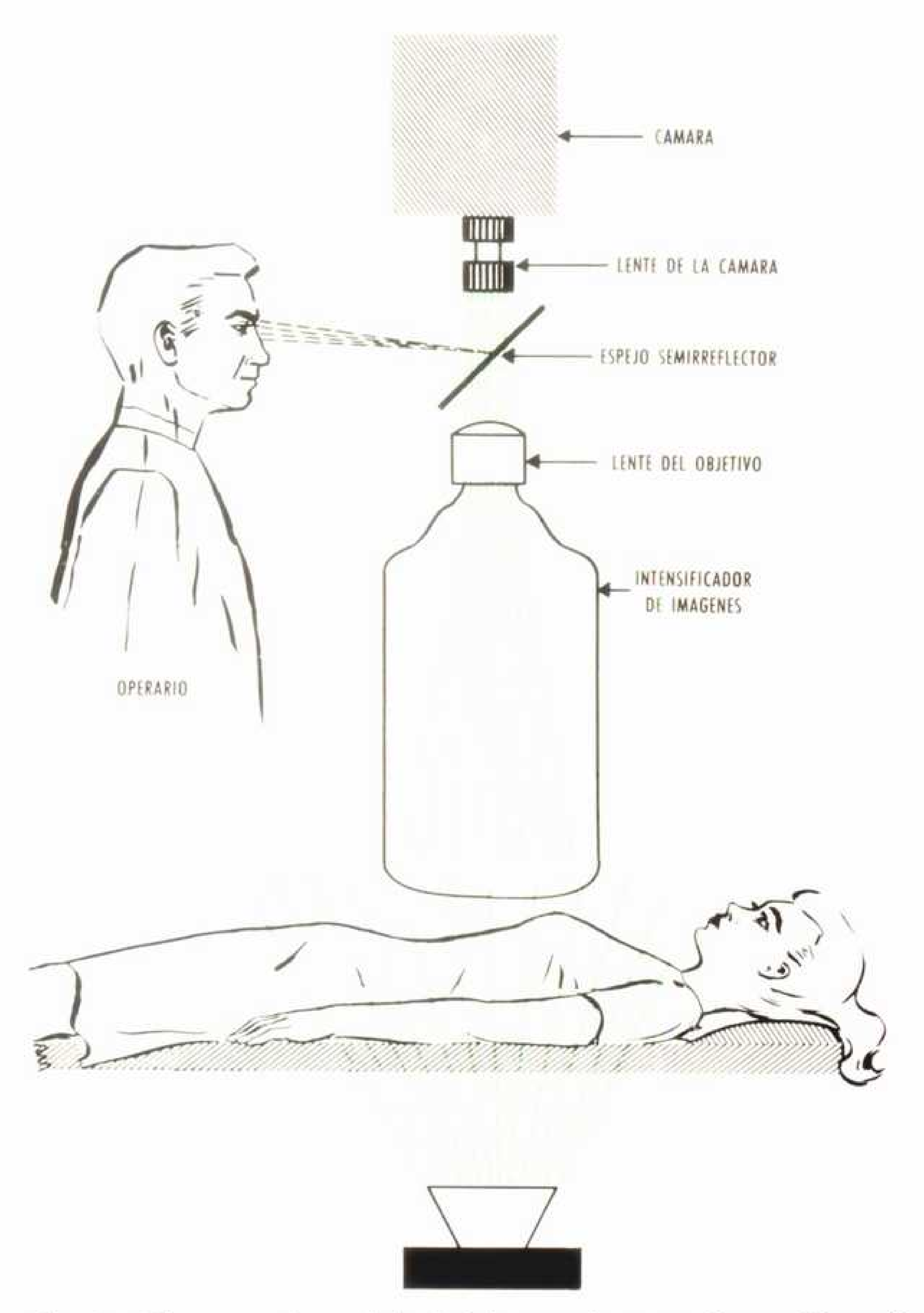


Fig. 4—Diagrama de modelo de laboratorio para cinerradiografía.

se instalaron, en hospitales y clínicas de radiólogos, unidades ya estandardizadas. La forma en que hoy aumenta la fluoroscopia clínica un intensificador de pantalla es algo distinto y sumamente interesante.

Con este sistema, los rayos X pasan a través del paciente y chocan con una pantalla fluorescente, donde su energía se convierte en luz igual que en una pantalla fluorescente ordinaria (Fig. 3). Esta luz despide electrones de una superficie fotoeléctrica adyacente. Estos electrones se aceleran y enfocan, por medio de un sistema de lentes electrostáticos, sobre una capa de fósforo superpuesta a otra de aluminio. Todos los electrones del fósforo receptor de la energía, que es una pantalla de 12.7 cm. de diámetro, se concentran en una capa circular de fósforo de 2.54 cm. de diámetro. Simultáneamente, estos electrones se aceleran para que choquen con la pantalla emisora con velocidad creciente, lo que aumenta más la intensidad de la luminosidad. De esta manera, mediante la concentración y la aceleración de los electrones, se forma una imagen varios cientos de veces más brillante que la original, sin aumento de la dosis de radiación al paciente.

El intensificador de imagen reemplaza la caperuza a prueba de luz que se muestra en la Fig. 2. Como la imagen intensificada es varios cientos de veces más brillante que una pantalla fluorescente ordinaria, las intensidades de rayos X pueden reducirse ahora considerablemente para obtener el mismo efecto fotográfico. Así resulta completamente posible obtener varios minutos de estudios cinefluorográficos de una persona sin peligro de exposición excesiva. Por ejemplo, una secuencia hecha con el procedimiento de la pantalla y la caperuza requería 100 miliamperios a 100 kilovoltios, y se limitaba a seis segundos; en cambio, el procedimiento del intensificador de imagen no requiere más que 1/10 Ma a 70/100 Kv, lo que permite una exposición de tres minutos.

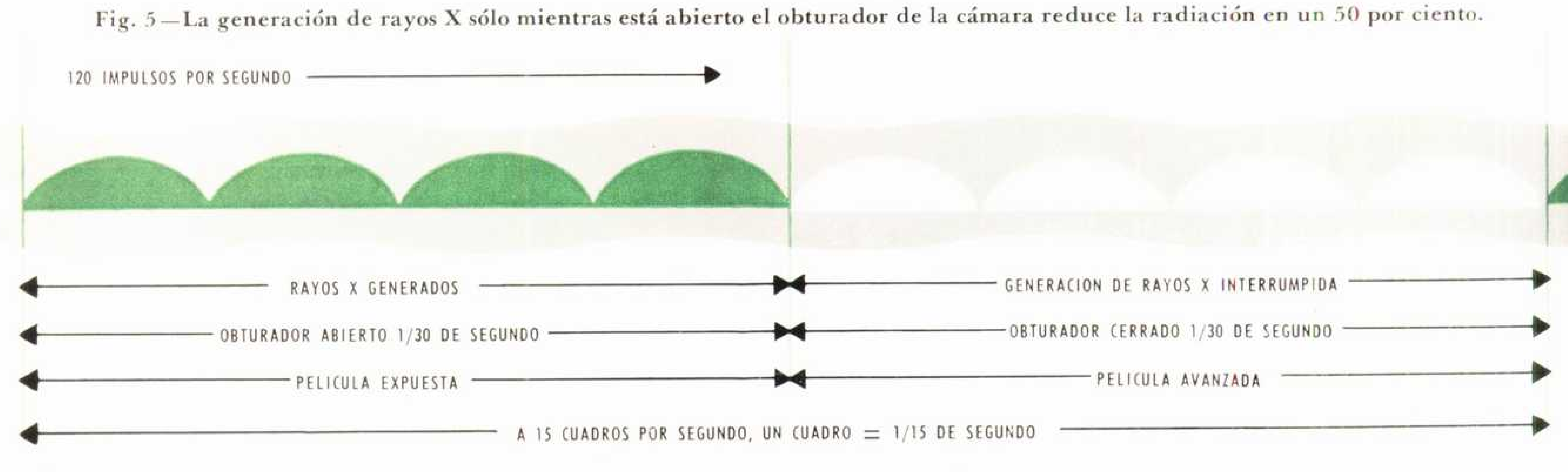
En la figura 4 se ve en diagrama un modelo de laboratorio. La imagen intensificada, que es más de 200 veces más brillante que la imagen inicial producida en el fósforo receptor de la energía, es proyectada por el lente del objetivo al de la cámara. La imagen final se enfoca entonces sobre la película de la cámara de 16 mm. movida a motor.

Si los impulsos de rayos X se sincronizan con el obturador de la cámara, el paciente recibe aún menos radiación (Fig. 5). Si, por ejemplo, se ajusta la cámara cinematográfica para 15 cuadros por segundo, un ciclo de operación del obturador requerirá, en consecuencia, 1/15 de segundo. El obturador está abierto aproximadamente la mitad de ese tiempo, o sea 1/30 de segundo. Del mismo modo, el paso de la película, cuando el obturador está cerrado, requiere 1/30 de segundo. Con aparatos de rayos X de onda completa se generan 120 pulsaciones de radiación por segundo. Como no hay película expuesta durante el período de paso o avance, no hay razón para generar rayos X para este 1/30 de segundo por cuadro, lo que ahorra la equivalencia de cuatro pulsaciones de rayos X. Generando rayos X solamente durante el 1/30 de segundo que el obturador está abierto, se utilizan cuatro pulsaciones de rayos X por cada cuadro. Mediante la sincronización, se genera un total de 60 pulsaciones por segundo a razón de cuatro por cuadro (4 pulsaciones por cuadro, por 15 cuadros por segundo), coincidiendo con el tiempo que el obturador está abierto.

Fluoroscopia en televisión

El amplificador de imágenes Fluorex ha hecho también posible un nuevo concepto de la enseñanza de la radiología. Con el nivel de luminosidad de la imagen fluoroscópica aumentado centenares de veces, resulta práctico televisar una imagen

Fig. 5—La generación de rayos X sólo mientras está abierto el obturador de la cámara reduce la radiación en un 50 por ciento.



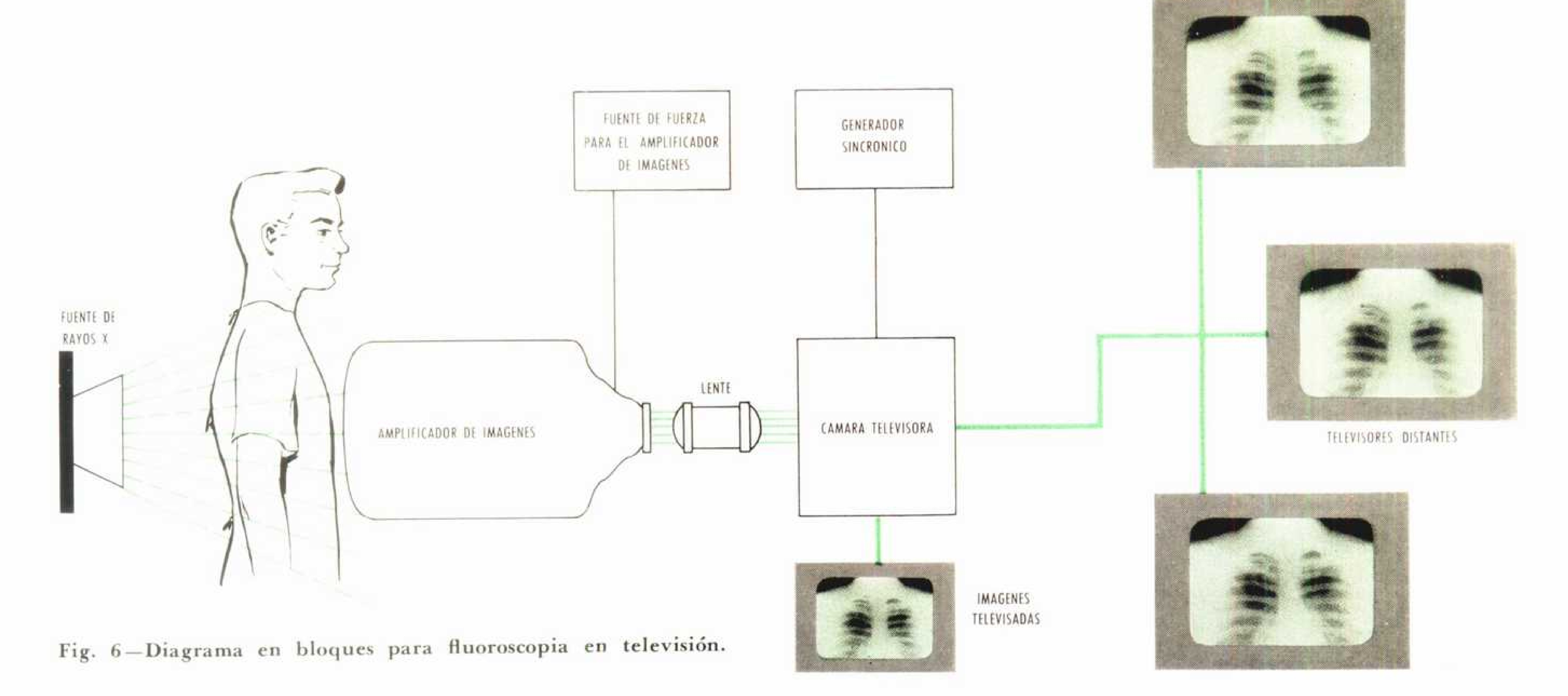


Fig. 6—Diagrama en bloques para fluoroscopia en televisión.

para que la vean los estudiantes de medicina en una aula situada a distancia del lugar donde se realiza el reconocimiento con rayos X. Sentados cómodamente en una habitación bien alumbrada, estudiantes y médicos pueden observar un examen fluoroscópico en un receptor de televisión de pantalla grande, mientras que el operador-instructor explica los detalles patológicos por un sistema de comunicación interior desde el propio lugar donde está efectuando el examen.

En abril de 1953 Westinghouse, en cooperación con el American Inventory Program, televisó imágenes fluoroscópicas por una red nacional. Esta fué la primera vez en la historia que las cámaras fluoroscópica y de televisión escudriñaron juntas la totalidad del cuerpo humano y captaron las funciones de la deglución, el estómago y el intestino, el pecho y el funcionamiento de un corazón normal y otro anormal. Como resultado de aquella transmisión se proyecta para el futuro una unidad para hospitales e instituciones de enseñanza. Ya se han hecho ensayos del prototipo de esta unidad, el Video-Fluorex.

El futuro

En el curso de un año se contará ya con un instrumento clínico para la obtención de películas de rayos X simultáneamente con la observación visual fluoroscópica. Esta unidad, el Cine-Fluorex, será montada en una sola pieza para su adaptación a casi todas las mesas modernas de rayos X instaladas ahora en hospitales y clínicas de radiólogos. La unidad permitirá a los médicos obtener imágenes cinematográficas de rayos X de 16 mm. de cualquier parte de la anatomía humana con sólo accionar un conmutador. Para mantener una luminosidad constante para la cámara, y por lo tanto una densidad constante de la película a medida que el Cine-Fluorex recorre tejidos de espesores variados, se le incorporará un tubo fotomultiplicador. Este dispositivo actuará sobre el control de rayos X y ajustará automáticamente la corriente del tubo de rayos X para mantener la luminosidad constante.

La fluoroscopia en televisión ofrece muchas posibilidades interesantes. La enseñanza de la fluoroscopia está hoy limitada por el número de estudiantes que pueden ver una imagen a la vez. Con los alumnos agrupados alrededor de la mesa fluoroscópica en una habitación a oscuras, el instructor tiene que repetir su disertación para cada estudiante, a medida que éstos van adelantándose para poder ver el objeto de la lección. Los movimientos de la imagen que ve un estudiante pueden no repetirse para los que la vean después. La fluoroscopia en televisión ofrece, en cambio, la perspectiva de que todos los estudiantes puedan ver la imagen simultáneamente en una pantalla de televisión, en una habitación alumbrada, alejados de la radiación excesiva, recibiendo las explicaciones por medio de un sistema de comunicación interior (Fig. 7).

Este medio ofrece también la facilidad de la consulta con otros especialistas, ya que pueden instalarse varios receptores de televisión en distintos departamentos de un hospital o un centro pedagógico grandes. Y no cabe duda de que, así, un especialista en rayos X podrá diagnosticar a distancia.

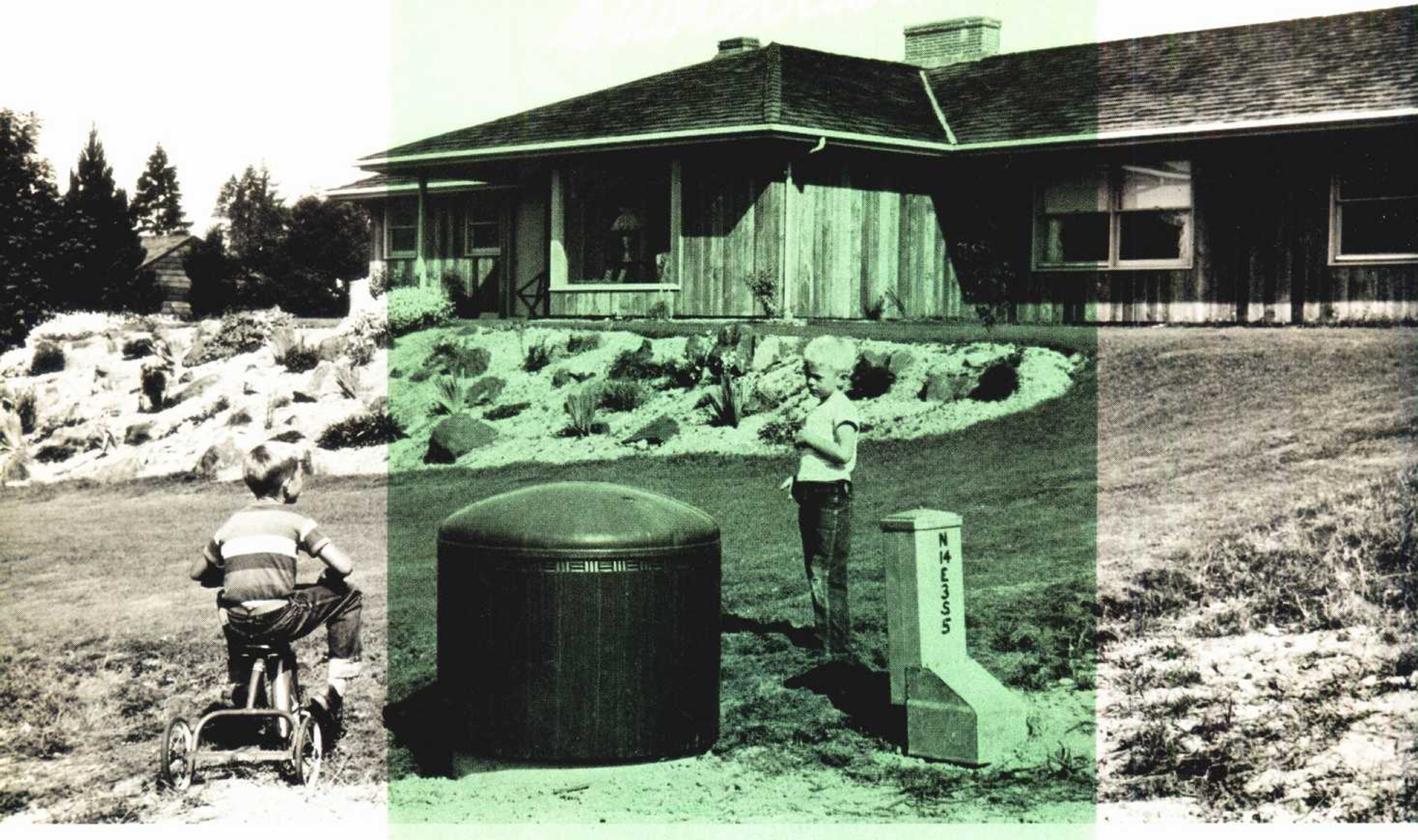
Las ventajas inherentes a los circuitos de televisión aumentan la calidad de la imagen fluoroscópica. Estas ventajas dependen de la habilidad para ajustar la cámara y el receptor de televisión a fin de conseguir el máximo de luminosidad y contraste, imposibles en la fluoroscopia ordinaria. Además, permitirán hacer del modo más perfecto demostraciones de los tejidos humanos de la más variada densidad.

Ya se trate de las películas de rayos X o de la fluoroscopia en televisión, ambas contribuyen a aumentar la información necesaria para hacer diagnósticos radiológicos con pequeñas cantidades de radiación.

Fig. 7—Dando instrucción por un circuito cerrado de televisión.



distribución Residencial subterránea económica



La caja del transformador ha sido provista de medidas especiales para evitar cualquier peligro a los niños o personas ajenas al servicio.

William A. Sumner, Gerente

Ingeniería de Transformadores de Distribución, División de Transformadores, Westinghouse Electric Corporation, Sharon, Pensilvania

Robert A. Zimmerman

Ingeniero de Distribución, Ingeniería de Servicios Eléctricos, Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh, Pensilvania

El creciente interés que existe hoy en los Estados Unidos por un tipo de sistema de distribución subterránea para nuevos barrios residenciales, se debe mayormente a que este país está atravesando el período más próspero de construcción de viviendas que haya conocido. Este mayor interés en los sistemas subterráneos lo origina el deseo de muchos dueños o negociantes de inmuebles de tener los terrenos donde están instaladas las propiedades sin los postes, cables y alambres aéreos de los servicios públicos.

Características del sistema

El sistema subterráneo ofrece algunas ventajas no encontradas en los sistemas de tendido aéreo. Los conductores, el equipo y las estructuras de soporte desaparecen de la vista y se instalan en sitios donde hay menor posibilidad de acceso del público a ellos. La separación mejor de los diferentes circuitos y materiales, como la que se consigue generalmente en las instalaciones subterráneas, proporciona condiciones de trabajo de mayor seguridad para el personal de las empresas de suministro de energía eléctrica. El sistema subterráneo está exento de interrupciones del servicio, con sus gastos consiguientes, de averías causadas por rayos, hielo, cellisca, nieve, lluvia y vendavales. Las probabilidades de que sufra averías causadas por vehículos, aeroplanos, incendios u objetos extraños que entren en contacto con los elementos del sistema son mucho menores que en el sistema aéreo. Además, el sistema subterráneo, con cables adecuados, tendrá, por regla general, mayor duración que los postes y crucetas del sistema aéreo. La confianza que ofrezca el sistema subterráneo residencial la determinará, en su mayor proporción, la que se deposite en los circuitos alimentadores primarios, que serán de construcción aérea en gran parte de su longitud.

Estas ventajas acarrean, no obstante, un costo de instalación más elevado. La experiencia ha demostrado que con el

sistema subterráneo el servicio a una zona residencial determinada cuesta de una y media a seis veces más que con un sistema aéreo. El aumento del costo en la mayor proporción citada corresponde a los sistemas más semejantes a los subterráneos corrientes, bastante complicados, que sirven las zonas comerciales, mientras que la proporción mínima de ese aumento del costo se logra donde se sacrifican ciertas ventajas para conseguir una instalación de tipo práctico.

Planeamiento del sistema

El sistema subterráneo para barrios residenciales no puede reunir todos los refinamientos y las ventajas de funcionamiento de los sistemas subterráneos usados corrientemente para dar servicio a las zonas comerciales, y al mismo tiempo ser económico. Los conductos para cables, las bóvedas para transformadores, las bocas de inspección y el equipo a prueba de inundación harían que el capital invertido superara a todo cálculo hecho con miras a obtener un beneficio predeterminado, y por lo tanto es necesario suprimirlos. Para conseguir la necesaria reducción del costo y obtener, no obstante, un buen servicio, hay que hacer lo siguiente:

Enterrar directamente en el suelo los conductores primarios, secundarios y de servicio; sin embargo, hay que instalar tubos y tubería rígidos en sitios vulnerables e intersecciones de calles. Los transformadores de distribución deben ser del tipo de poste corriente, y estar encerrados en alguna especie de caja semienterrada o montada a ras del suelo. Las cajas o pedestales de servicio deben ocupar el lugar de las bocas de inspección. Para lograr una reducción aún mayor del costo de instalación del sistema, la zanja para los cables debe compartirse con la compañía telefónica en los casos en que sea posible. Si la zanja de los cables está situada en la parte anterior de los solares donde se levantan las casas, puede hacerse una economía adicional colocando el circuito del alumbrado público en la misma zanja. La situación de la zanja en el frente también ofrece la ventaja de un acceso fácil para el cambio de transformadores y cualquier trabajo de conservación necesario. La apertura de la zanja en la parte posterior de los solares puede dificultar el acceso al equipo, pero en cambio puede proporcionar alguna economía al evitar las intersecciones de calles y el tendido más largo requerido por la situación en el frente.

En algunos casos de instalación de sistemas residenciales subterráneos se han dividido el costo la compañía suministradora del servicio y el constructor de la barriada. En general, la compañía se hace cargo de un costo equivalente al de un sistema aéreo, y el constructor abona la diferencia. El constructor puede resarcirse de este gasto mediante la adición de un importe proporcional al precio de venta de cada casa. Esta adición es meramente uno de los recargos de costo que el futuro residente paga por servicios que forman parte del mejoramiento del barrio, más bien que de la construcción de la casa.

La mayoría de los sistemas subterráneos económicos ahora instalados son del tipo radial monofásico. En la práctica, éste puede no resultar el más económico, especialmente cuando hay grandes entradas de corriente en áreas cuyas densidades de carga varían aproximadamente entre 30 y 150 Kva por 300 metros de circuito secundario. Las ventajas del sistema monofásico secundario seccional debidamente proyectado, sobre el radial, adquieren aún mayor importancia cuando se instalan estos sistemas bajo tierra; el sistema secundario seccional, con el uso de transformadores completamente autoprotegidos, merece seria consideración. Este sistema aprovecha mejor la diversidad de cargas y permite la instalación de transformadores de menor capacidad. Proporciona también mejores condiciones de promedio de voltaje en las cargas para un determinado tamaño de transformador y de conductores, y espaciamiento entre transformadores. Hay también menor caída de tensión para un determinado flujo de corriente. El sistema proporciona, asimismo, un grado más alto de flexibilidad con respecto a nuevas cargas o aumento de las mismas. Estos factores adquieren mucha importancia en los sistemas subterráneos. Una vez que los cables han sido enterrados, el costo de su reemplazo con otros de mayor tamaño resulta prohibitivo.

Instalación del sistema subterráneo

Zanjas—La zanja debe tener la profundidad suficiente para colocar los cables debajo del nivel de límite de las heladas, aunque el movimiento del terreno a consecuencia de heladas y deshielo no pueda causar daños al aislamiento del cable. El fondo de la zanja debe prepararse para acomodar los cables en una capa de varios centímetros de arena o tierra tamizada. El relleno que se ponga cubriendo los cables, en contacto con éstos, debe ser también relleno "preparado".

Protección de los cables—La protección adicional de los cables no se considera generalmente necesaria. En Europa se usan extensamente desde hace muchos años sistemas con cables enterrados directamente, sin protección adicional, con resultado satisfactorio. Sin embargo, si se prefiere hacer un gasto extraordinario para proteger los cables, hay varios métodos. Unas cuantas instalaciones existentes en los Estados Unidos y el Canadá han usado medios tales como tablones impregnados con preservativos para madera, o canales prefabricados de hormigón en forma de U, invertidos sobre los cables. En otros casos en que el sistema ya se había instalado antes de la terminación de una serie de casas, los cables fueron tendidos debajo del borde de la línea proyectada de las aceras. La acera proporciona la protección vertical necesaria y al mismo tiempo los cables son accesibles para los trabajos de conservación si se excava diagonalmente.

Cables—Los principales fabricantes de cables coinciden en que los conductores tanto primarios como secundarios deben protegerse con una buena materia aislante dura e impermeable. Para los cables enterrados directamente en el terreno hay que emplear la mejor calidad de aislamiento, pues el pequeño ahorro inicial de un aislamiento relativamente inferior resulta a la larga una falsa economía. El sistema debe ser calculado para una duración aproximada de 30 años y, por lo tanto, la

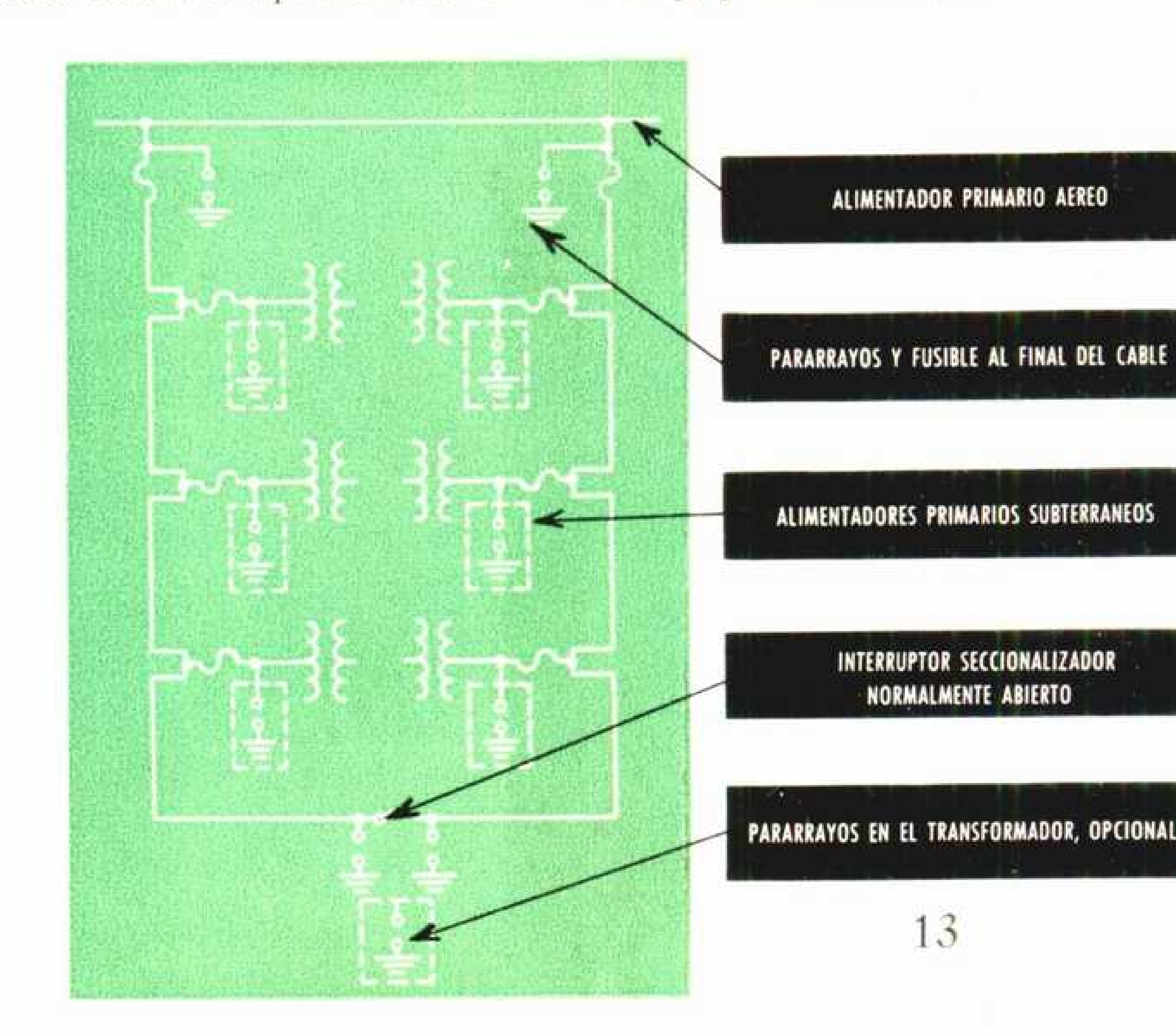


Fig. 1—Diagrama de un circuito de alimentador primario para un típico sistema económico de distribución subterránea.

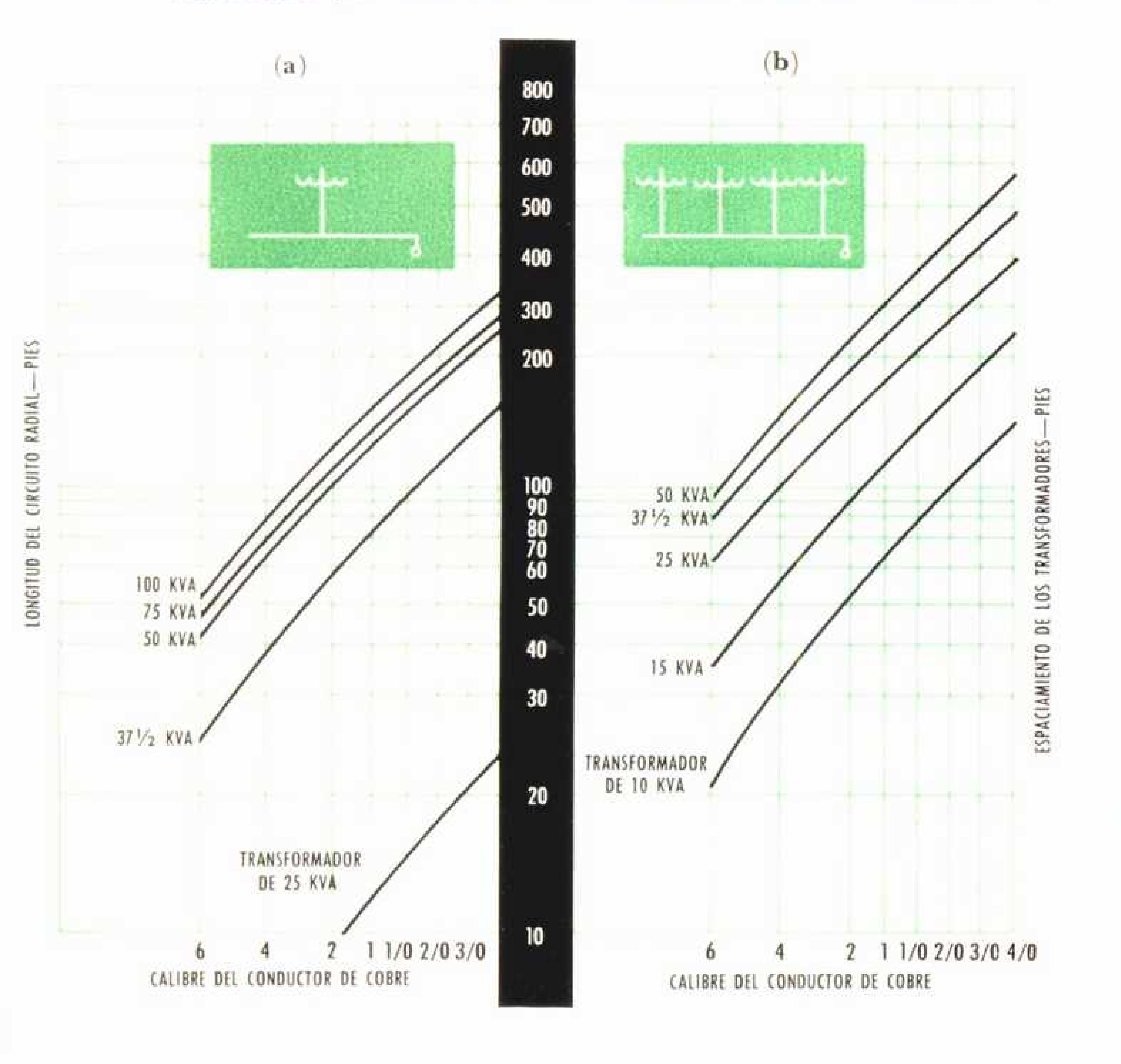
clase del aislamiento usado es un factor esencial. Un buen aislamiento que responde a las necesidades expuestas es una cubierta de neopreno, bien sobre caucho o sobre un compuesto aislante a base de aceite. Los circuitos primarios y secundarios deben componerse de cables de un solo conductor con preferencia a los de tres conductores. Esto reduce las fallas de fase a fase y facilita conectar los transformadores y la instalación de conmutadores de secciones y de conexiones de servicio.

División en secciones—La mayor parte de los sistemas subterráneos económicos prestan servicios a zonas pequeñas. Tienen una cantidad relativamente reducida de cable primario enterrado, que se alimenta de circuitos aéreos adyacentes de hilos descubiertos. A causa del tamaño del sistema, la división en secciones se hace frecuentemente según se muestra en la Fig. 1. Cuando el sistema es más extenso, es conveniente tener más divisiones en secciones para limitar la cantidad de carga perdida en caso de una falla del cable.

Tamaño del conductor—El tamaño del conductor primario depende del voltaje primario, la longitud del cable y la magnitud de la carga prevista. Un circuito primario para una carga máxima aproximada de 300 a 500 Kva debe ser suficiente para la mayoría de las instalaciones de distribución subterránea en barrios residenciales.

El funcionamiento del sistema subterráneo se asemeja al del aéreo en muchos respectos. Inicialmente, la regulación del voltaje es el factor limitador en el circuito secundario. A medida que aumentan las cargas y se añaden más transformadores, el espacio entre éstos se reduce, y entonces la limitación pasa a consistir en la capacidad de conducción de corriente más que en la regulación del voltaje. Pero estas dos limitaciones pueden neutralizarse en cualquier momento por la caída de tensión causada por el empleo de motores en el circuito, y el diseño del sistema debe basarse en la caída tolerable.

Fig. 2—Las curvas de correlación de un sistema monofásico trifilar subterráneo de 120/240 voltios, de un solo cable, muestran (a) la longitud máxima de un circuito secundario radial, y (b) el espaciamiento máximo entre transformadores para un sistema secundario seccional, para una reducción de voltaje de 2.5 por ciento, ocasionada por la entrada de corriente a un motor de 5 HP.



El uso de motores monofásicos de 220 voltios, de 5 HP, en las zonas residenciales, no es una esperanza remota sino una realidad ya presente en forma de termobombas y sistemas centrales de aire acondicionado. Como esta carga de motores es una posibilidad definida en casi todas las barriadas residenciales nuevas, ha sido elegida para servir de base a la correlación de transformadores y conductores secundarios. En la Fig. 2 se ven las curvas típicas que ilustran la correlación de un sistema radial simple y el sistema seccional secundario.

Conexiones de servicio—Las cajas o pedestales con tres barras ómnibus separadas para la conexión de los cables de servicio representan el medio práctico de hacer las conexiones. Se han fabricado cajas de servicio en el mismo lugar de su instalación usando secciones de hormigón fundidas de antemano y una cubierta metálica con dispositivos de cierre. La caja se entierra en el suelo con la tapa a ras de tierra. Los pedestales de servicio deben ser huecos a fin de subir por ellos los cables para las conexiones. Además, tendrán que ser de bastante volumen para facilitar la separación necesaria entre las barras ómnibus. Así pues, desde los puntos de vista de apariencia y costo, es preferible la caja de servicio enterrada a ras de tierra.

Aplicación de transformadores—Una práctica conservadora aconseja que los transformadores instalados en una caja o bóveda deben ser rebajados de capacidad en un 10 ó un 15 por ciento, porque la temperatura del aire dentro de la cubierta es algo más elevada que la del ambiente exterior. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta el ciclo efectivo de carga con que funciona el transformador, probablemente resulte innecesaria la reducción de capacidad.

Alumbrado público

Existen muchas posibilidades para el servicio de alumbrado público en un sistema económico de distribución subterránea. Los transformadores a intensidad constante, los interruptores en aceite y los relevadores de protección pueden instalarse en bóvedas o cajas semejantes a las usadas para los transformadores de distribución. Si el sistema subterráneo, como ocurrirá corrientemente, sirve una zona relativamente pequeña alimentada por circuitos primarios aéreos adyacentes, este equipo puede situarse en postes en la zona aérea contigua a la subterránea. El problema de la colocación del equipo y los circuitos de alumbrado público necesarios queda muy simplificado si se usa un alumbrado múltiple en lugar de un alumbrado en serie. Cuando se usa un alumbrado múltiple, los circuitos secundarios enterrados sólo tienen que ser conectados a los postes del alumbrado público y después a las lámparas. En los postes se montan relevadores de control para las lámparas. Hay también la posibilidad de usar un relevador sensible a la luz construído integralmente con cada unidad de alumbrado. Si se usa el relevador sensible a la luz, el de tiempo o cualquier otro tipo de relevador para controlar varias lámparas, el relevador de control puede montarse en un poste, y tender bajo tierra otros circuitos-piloto hasta los otros postes en los que las lámparas deban ser controladas.

Localización de averías

El uso de cable de un solo conductor en el sistema económico de distribución subterránea probablemente elimine todas las fallas con excepción de la de una sola línea a tierra. La localización de estas fallas se facilitará mediante el uso de un procedimiento de comprobación normal. Este procedimiento podría ser como sigue: (1) Hacer un análisis preliminar para determinar la situación de la falla, tomando como base la queja del consumidor y la información relativa al funciona-

miento de los dispositivos de protección del sistema; (2) examinar el trayecto del cable en busca de los indicios materiales que pueda haber del lugar donde está la avería, los cuales pueden ser, por ejemplo, una construcción reciente en que se haya hecho alguna excavación; (3) determinar y aislar la sección de cable averiada por medio de los procedimientos de división en secciones; (4) usar equipo del tipo de corriente indicadora o de sobrecorriente momentánea para determinar el lugar preciso de la avería.

Protección de sobrecorriente momentánea

Los cables de envoltura no metálica enterrados bajo la superficie no son inmunes a las sobretensiones repentinas y a los posibles daños causados por tormentas eléctricas. Las sobretensiones causadas por los rayos pueden entrar en estos circuitos de cables por dos caminos. El primero y más frecuente es el de los circuitos aéreos de alimentadores primarios. Los cables y los transformadores de distribución conectados a ellos pueden protegerse en forma adecuada mediante la aplicación de pararrayos en la terminación del circuito aéreo y en el extremo opuesto del cable subterráneo. Sin embargo, si los cables son relativamente largos pueden necesitarse pararrayos adicionales en puntos intermedios a lo largo del cable. Los pararrayos pueden colocarse en los transformadores para mayor comodidad.

El segundo medio por el que pueden entrar las sobrecorrientes de los rayos en los circuitos de cables descubiertos es el de su trayectoria en el suelo. Si el terreno tiene una resistividad relativamente alta, esas corrientes pueden buscar los cables porque éstos son mejores conductores. Ello puede originar daños en el cable y en el equipo conectado a él. Los pararrayos de cada extremo del cable no pueden proteger el cable y el equipo conectado de esas sobrecorrientes. Si el suelo tiene una alta resitividad y el número de descargas eléctricas por año es relativamente elevado, puede estar justificada la instalación de pararrayos en todos los transformadores de distribución, o el uso de cable con cubierta de metal. En zonas de baja densidad de descargas eléctricas, en las que la resistividad del suelo sea baja, puede estar justificada la decisión de correr el riesgo previsto de omitir los pararrayos en los transformadores de distribución siempre que, desde luego, las terminaciones de los cables tengan la protección adecuada.

Instalación del transformador

A lo largo de los años, varias empresas de servicios públicos han consagrado mucho tiempo de estudio a la forma en que podrían efectuar las instalaciones de transformadores para el sistema subterráneo económico. Westinghouse recibió ya en 1939 solicitudes de recomendaciones a ese respecto. La cubierta más prometedora que se ideó consta de un cilindro de hormigón enterrado parcialmente, con la parte superior encima de la superficie. Esta disposición reduce las dificultades de instalación y mantenimiento en comparación con las de la unidad completamente enterrada, y por otra parte hace menos visible la instalación completa que una unidad montada sobre la superficie del terreno. La superestructura—una envoltura con tapa de acero—puede ser construída en la misma fábrica de los transformadores. Esto ofrece la ventaja de proporcionar cierto grado de uniformidad y economía, imposibles cuando las empresas de energía eléctrica hacen ellas mismas sus propias cubiertas para los transformadores. Este modelo ha acabado por ser designado con el nombre de instalación de transformador *semienterrado*.

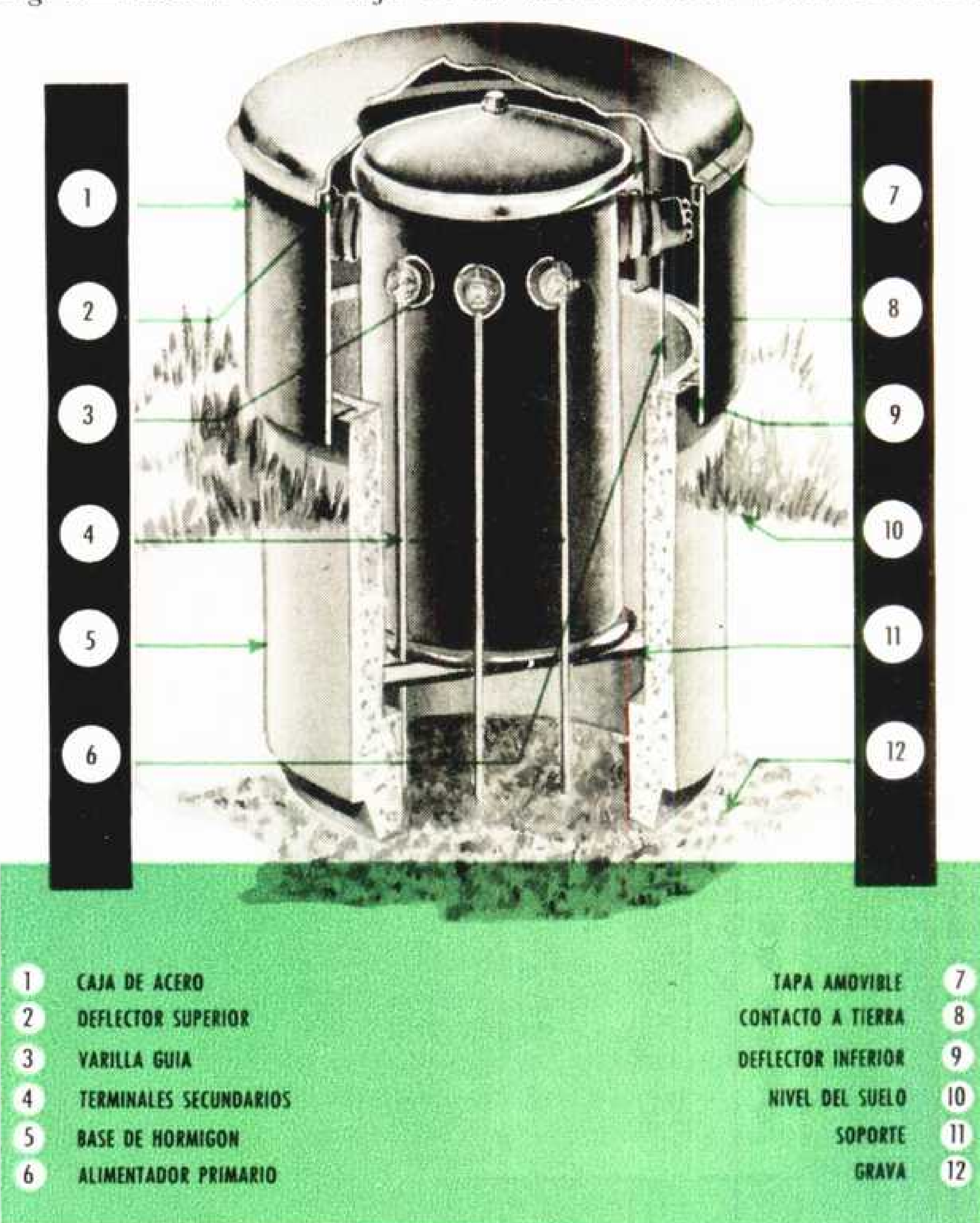
Durante los últimos cinco años se ha introducido en el diseño cierto número de cambios basados en la experiencia, todos ellos encaminados a encontrar mayor simplicidad y más seguridad. Los diseños más recientes tienen tres partes: un tubo cilíndrico de hormigón, un casco cilíndrico de acero, y una cubierta circular abovedada de metal laminado. En el diseño de la base, Fig. 3, se usan las dimensiones normales de la tubería de hormigón corriente.

La envoltura de metal es de mayor diámetro que la base de hormigón, a fin de que entre el aire para el enfriamiento. Cerca de la parte superior de la envoltura, una rejilla permite que salga el aire caliente. El casco de acero tiene soldado cerca de la base un anillo para el montaje. La cubierta abovedada tiene pestañas para que encaje perfectamente sobre la envoltura de acero, y guarniciones para poder fijarla con un candado a la envoltura. Un examen de las características nominales y los tipos de transformadores indicó que se precisan dos tamaños, con envolturas de 90 y 120 cm. de diámetro. Con estas envolturas pueden instalarse transformadores monofásicos hasta de 50 Kva y 7200 voltios y hasta de 100 Kva y 2400 a 4800 voltios, y trifásicos hasta de 75 Kva y 2400 a 4800 voltios.

Conclusiones

El uso de los sistemas de distribución subterráneos no ha sido extenso. Sin embargo, el reciente incremento de su empleo ha bastado para que se reconozca como una nueva tendencia en las zonas residenciales. Aunque esta tendencia probablemente no llegue a desarrollarse en proporciones considerables, se prevé un aumento gradual del número de los sistemas de este tipo instalados cada año. Ya se han instalado sistemas subterráneos con el equipo aquí descrito en 18 estados de los Estados Unidos muy apartados entre sí, en las islas Vírgenes, en Hawai, en Alaska y en Puerto Rico. La experiencia de su funcionamiento ha resultado muy satisfactoria, y ha demostrado que puede conseguirse en las zonas residenciales una distribución subterránea de poco costo.

Fig. 3—Sección de la caja de un transformador semienterrado.



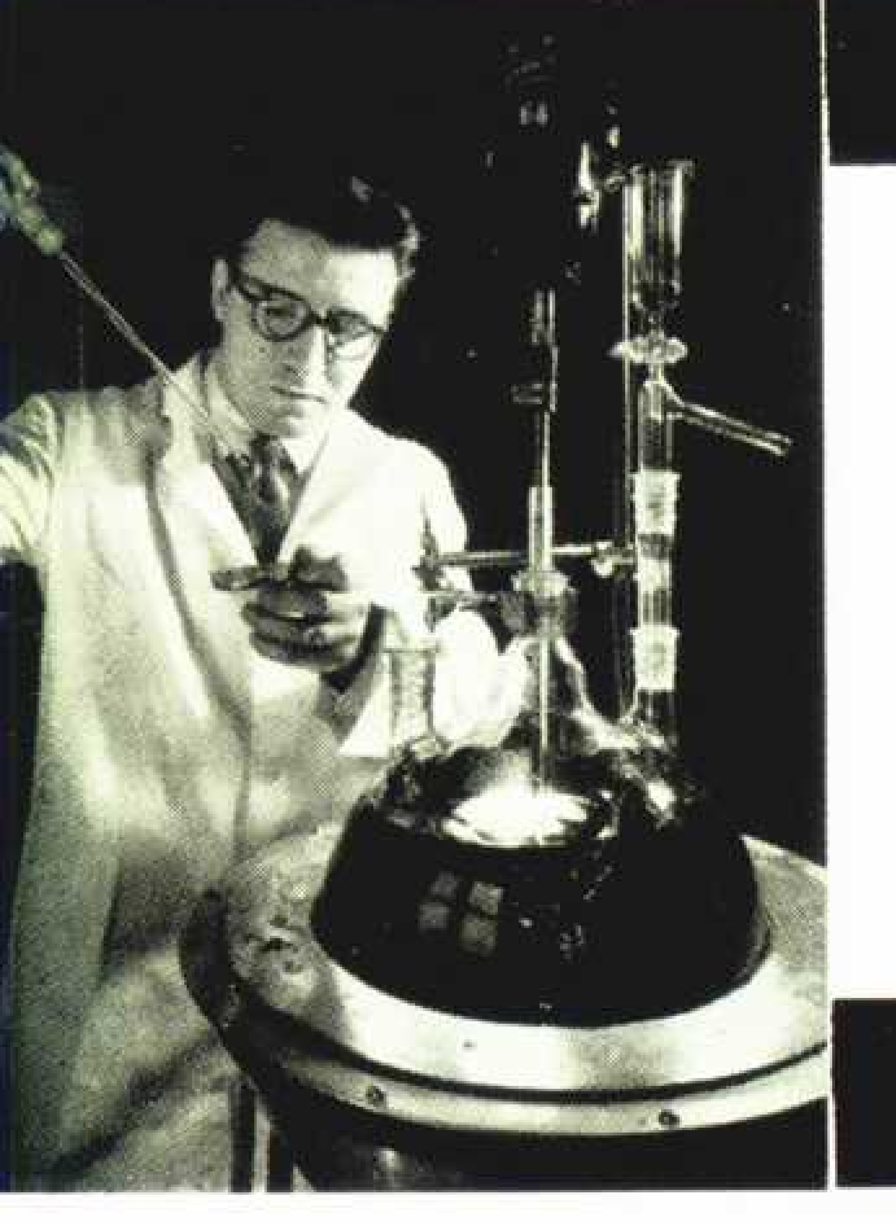
¿Qué fuerzas físicas y químicas adhieren la suciedad a las telas, y cómo neutralizan esas fuerzas los detergentes, la agitación mecánica y la temperatura del agua? Estos factores no son generalmente bien comprendidos. Los hombres de ciencia están actualmente tratando de averiguar aún más sobre la mecánica que hace a la suciedad adherirse a diversos objetos, mezclándole carbono radiactivo y analizándola a través de un ciclo de limpieza.

Para hacer este estudio, se ensucian muestras de tela con un tipo "standard" de suciedad que contiene negro de humo, una grasa y una proteína, los ingredientes esenciales de la suciedad que se adhiere a la ropa. Cualquiera de esos tres ingredientes puede impregnarse con carbono radiactivo. Las partículas beta que emite pueden ser contadas con precisión. En esta forma, si se impregna un ingrediente y se mide la radiactividad de la mancha antes y después del lavado, la diferencia en la emisión de partículas beta proporciona la medida precisa de la cantidad de ese tipo particular de suciedad eliminada durante la operación del lavado.

La nueva técnica ha revelado varios hechos que contradicen las nociones generales acerca de la eliminación de la suciedad de las telas. Por ejemplo, el método usual para juzgar la cantidad de suciedad suprimida en el lavado consiste en comparar la blancura de la tela midiendo la luz reflejada por la mancha antes y después del lavado. Algunas de las pruebas hechas demuestran que, aun eliminando hasta el 42 por ciento del negro de humo de la tela sucia, sólo aumenta la blancura en un 16 por ciento.



Estudio de la suciedad



Un nuevo esmalte aislante para alambre de cobre—que se ve aquí durante el proceso de preparación en el laboratorio—facilitará la producción de equipo eléctrico más pequeño, eficaz y duradero. Las pruebas de duración a que ha sido sometido el nuevo esmalte demuestran que los motores eléctricos en que se emplee pueden funcionar 10 años a temperatura de 165° C. Este nuevo material aislante es una resina modificada del tipo poliéster y contiene aproximadamente 20% de silicone.

Casos y cosas de la

Aparato de rayos X superpotente

El aparato de rayos X es un instrumento básico del investigador científico. Uno nuevo que tienen los Laboratorios de Investigación es el aparato cristalográfico más potente y adaptable del mundo.

El elemento clave de este nuevo aparato es un tubo cristalográfico de rayos X radicalmente mejorado. Este tubo produce un haz angosto, pero intenso, de rayos X; el haz se dirige a través de un material cristalino, y los rayos caen sobre la película fotográfica. Esto da una imagen que refleja la disposición de los átomos en el cristal. El tubo de rayos X comúnmente usado para ese propósito emite rayos X activados por una corriente ininterrumpida de 15 a 20 miliamperios a 45 000 voltios, pero el nuevo tubo funciona con 120 miliamperios. Esta potencia adicional es especialmente importante en la investigación porque permite hacer radiografías en la sexta parte del tiempo normal, con lo que reduce a unos días o unas semanas, meses de trabajo corriente con rayos X.

La alta producción de potencia del nuevo tubo proviene de un original ánodo rotatorio de metal enfriado por agua. Este ánodo, que tiene unos 12.5 centímetros de diámetro, parece una rueda metálica hueca y gira a una velocidad de unas 1000 r.p.m. Los rayos X se generan cuando un chorro de electrones de un cátodo de tipo especial choca contra el borde del ánodo giratorio. El agua se introduce en el ánodo a través de una cavidad por medio de una bomba.

Cuando se bombardean con electrones, los diferentes metales generan distintas clases de rayos X. El nuevo tubo de rayos X tiene ánodos extra, cada uno de ellos revestido con un metal diferente, que pueden ser cambiados en pocos minutos.





Hierro puro y perfecto

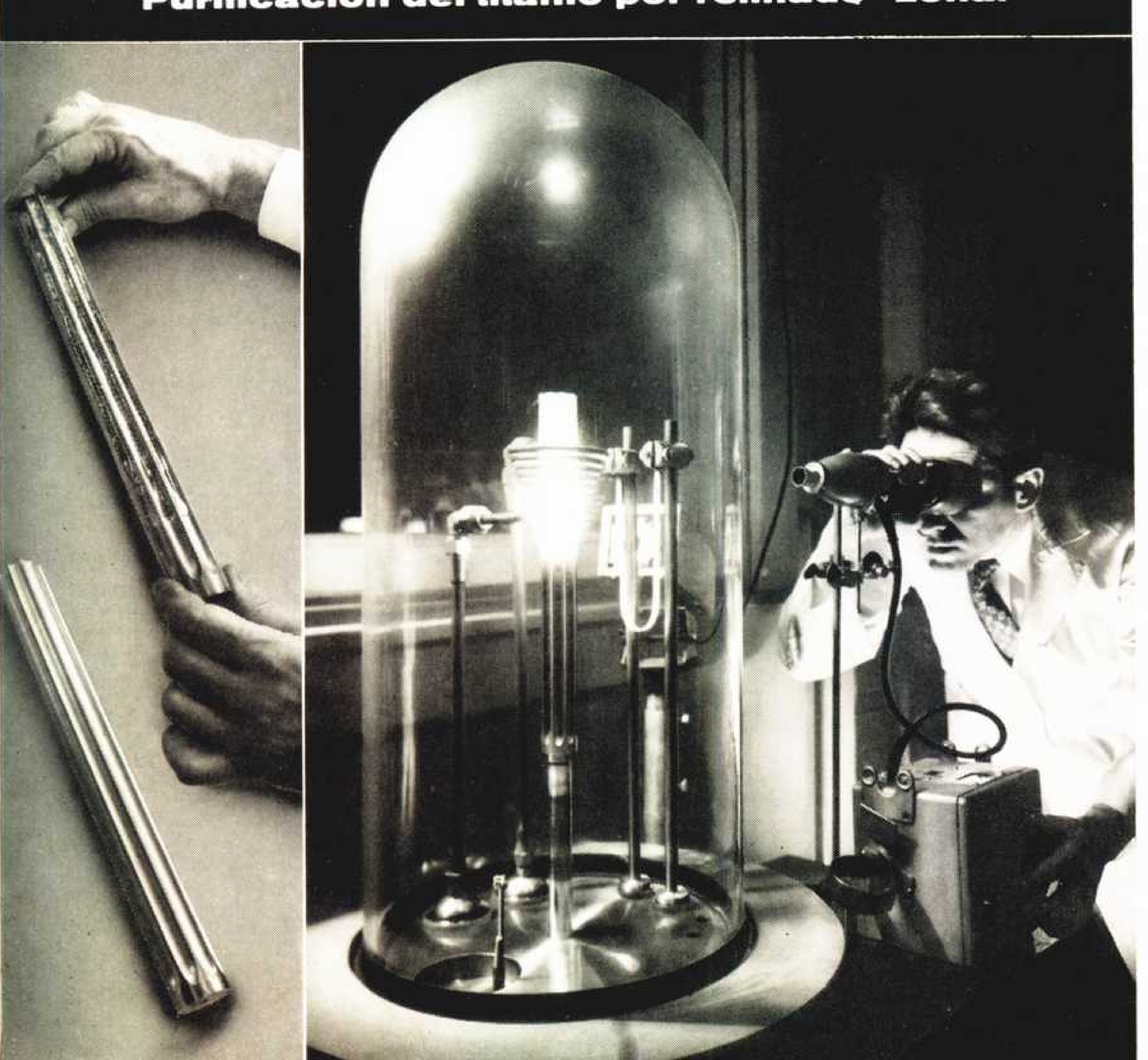
investigación

Se conoce poco acerca de los metales completamente libres de impurezas e imperfecciones — simplemente porque nunca se encuentran así en forma natural y hasta hace poco no se podían preparar en el laboratorio. Teóricamente, tales metales debieran reunir propiedades fantásticas. El hierro puro y perfecto, por ejemplo, tiene una resistencia de tensión de más de 70 000 kilos por centímetro cuadrado, que es por lo menos 10 veces la resistencia del hierro ordinario que ha sido estirado para convertirlo en alambre, y por lo menos tres veces la de la clase de acero que se usa en las cuerdas de piano.

Los hombres de ciencia de los Laboratorios de Investigación han producido recientemente briznas de hierro puras y perfectas en una escala sin precedentes; estas briznas tienen una resistencia de tensión que se aproxima a esos 70 000 kilos por cm. cuadrado. Esas briznas o "filamentos" son cristales de hierro puro, tan perfectos que no puede descubrirse defecto alguno en su estructura. Los cristales tienen hasta cinco centímetros de largo y 0.0025 cm. de grueso; las tentativas previas para producir estos "filamentos" dieron por resultado cristales que sólo podían observarse con ayuda del microscopio.

Este hierro puro es el resultado del perfeccionamiento de una nueva técnica descubierta en los laboratorios hace unos dos años. Se calienta cloruro de hierro altamente purificado, una sal común de hierro, en una atmósfera de hidrógeno dentro de un horno especial a una temperatura de unos 590°C. (Véase la foto de la izquierda). Mediante un rígido control de la temperatura y la corriente de hidrógeno, los átomos de cloro del cloruro de hierro se dejan combinar químicamente con el hidrógeno en cierta proporción precisa. Esto deja átomos de hierro libres, que se mueven lentamente los unos hacia los otros y se superponen en una estructura perfecta. En esta forma se unen miles de millones, sin defectos perceptibles, hasta convertirse en un solo cristal perfecto de hierro puro, exactamente cuadrado en una sección transversal, y que llega frecuentemente a alcanzar una longitud de cinco centímetros. (Véase la foto superpuesta). Pruebas mecánicas directas demuestran que estos cristales tienen resistencias de muy cerca de 70 000 kilos por cm. cuadrado.

Purificación del titanio por refinado "zonal"

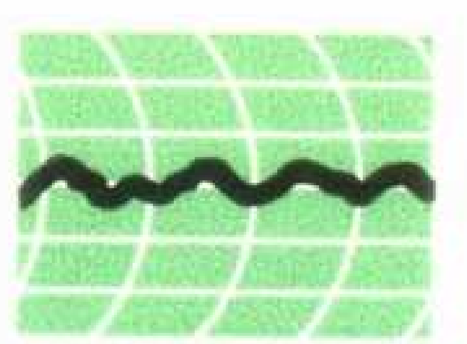
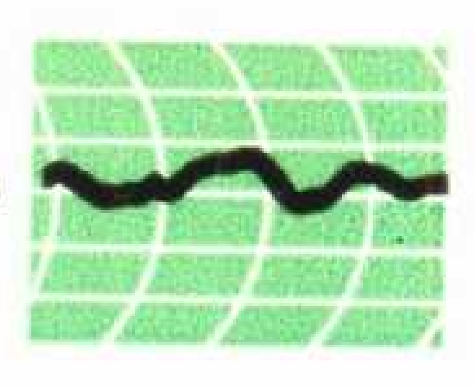
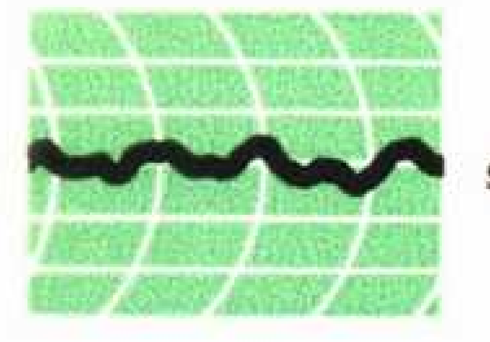


Los científicos de los Laboratorios Westinghouse están purificando el titanio y otros metales de difícil consecución, encerrando el metal fundido en una jaula hecha con el mismo metal. El procedimiento, llamado refinación en zona de jaula, es un método original para fundir una barra de metal mientras éste actúa como su propio crisol, lo que impide la contaminación por cualquier otro recipiente. El fin que se persigue con este procedimiento es la preparación de metales superfinos.

El éxito de la refinación en zona consiste en que la mayor parte de las impurezas de los metales tienen preferencia bien por su estado líquido o sólido. El hierro, impureza común del titanio, tiene preferencia por el estado líquido de este metal. Cuando se funde progresivamente de un extremo al otro una barra de titanio impuro, el hierro se concentra en el titanio líquido y sigue la zona fundida hasta el extremo de la barra. Entonces, al llegar a la punta, se corta ésta, y así el resto de la barra de titanio queda más puro. Cuantas más veces se repite este procedimiento, más impurezas se eliminan.

El titanio tiene un elevado punto de fusión, más de 1650°C. A esta temperatura es uno de los metales más activos; no sólo se oxida con rapidez, sino que además reacciona químicamente con recipientes de metal, grafito o cerámica. El nuevo procedimiento elimina estas fuentes de contaminación en forma única. En una atmósfera inerte, a baja presión, de argón o de helio, una barra de titanio impuro se mantiene vertical en una plataforma de metal (véase foto de la izqda.). La plataforma se eleva lentamente, subiendo consigo la barra a través del arrollamiento calentador. Una corriente de alta frecuencia (10 000 c.p.s.) pasa por la espiral e induce dentro de la barra corrientes que la hacen fundirse desde el interior hacia la superficie. Con esto, las esquinas de la barra son menos afectadas por las corrientes inducidas y pierden rápidamente su calor en el aire ambiente. Las esquinas permanecen rígidas y desempeñan el papel de jaula en la que queda "aprisionado" el titanio fundido.

En una variación del nuevo procedimiento, se labra una barra haciendo a lo largo de su superficie una o varias canales, en forma muy parecida a las de las columnas estriadas de algunos edificios. Los bordes no fundidos de estas mediacañas forman entonces la jaula, y como pueden colocarse a voluntad permiten purificar barras de mayor diámetro. La foto de la extrema izquierda muestra estas barras antes y después de la refinación.

 Los amplificadores magnéticos han invadido un ramo más, esta vez en un nuevo control para reguladores de tensión. Traen consigo las ventajas de carecer de piezas  móviles y de aumentar la seguridad,  sin sacrificar las normas de exactitud de los controles actuales.

control estático *para* reguladores

J. H. Chiles, Jr.
Gerente de Ingeniería, División de Transformadores, Westinghouse Electric Corporation, Sharon, Pensilvania

A. M. Harrison
Gerente de Ingeniería, División de Transportes y Generadores, Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh, Pensilvania

El rapido desarrollo de cargas adicionales hace que el control adecuado del voltaje en los sistemas de distribución sea un factor cada vez más importante para el funcionamiento económico y eficaz. El grado de perfección con que el regulador de voltaje desempeñe esa función depende de la precisión y la seguridad de sus controles. En un nuevo control para reguladores de inducción y del tipo de estación, y para transformadores de cambio de derivaciones bajo carga, la función que antes desempeñaban las partes móviles se realiza ahora con amplificadores magnéticos. Además de la mayor seguridad que esto ofrece, los nuevos controles mantienen las normas de seguridad y las características de funcionamiento de los presentes, y están dispuestos en forma tal que todos los ajustes de los controles pueden hacerse desde el frente del panel mediante el uso de cuadrantes calibrados.

Requisitos del control

La función básica de los controles del regulador consiste en mantener constante el voltaje en algún punto del sistema de distribución. En la Fig. 1 puede verse un diagrama simplificado del sistema de control de regulador de etapas; este sistema mantiene el voltaje del centro de carga dentro de límites predeterminados con diversas condiciones de carga o variaciones del voltaje de las barras de entrada. El diagrama de un sistema de control de regulador de inducción es idéntico, con la única diferencia de que no se usa en él elemento de retardo.

Controles del regulador de etapas

Elemento regulador de tensión—El elemento regulador de tensión es el cerebro del sistema, pues dirige todas las operaciones de control. Los sistemas que se emplean actualmente usan alguna forma de elemento electromecánico de regulación de tensión, que consiste generalmente en un solenoide o en un dispositivo del tipo de disco de inducción. El elemento regulador de tensión tiene un mando de ancho de banda de tensión que determina la amplitud de tensión del sistema regulado. Este elemento suministra energía al elemento de retardo cada vez que el voltaje se sale del ancho de banda fijado. En algunos sistemas de distribución esto puede conducir a un funcionamiento excesivo del relevador regulador del tipo convencional, lo que acortará su duración y reducirá la seguridad que ofrezca todo el sistema de control.

Elemento de retardo—El elemento de retardo limita el funcionamiento excesivo del cambiador de derivaciones a causa de perturbaciones momentáneas que hacen al voltaje salirse del ancho de banda fijado en el elemento sensible a la tensión. Los relevadores de retardo actualmente en uso son generalmente del tipo termomecánico o accionados por motor. El funcionamiento parcial de cada tipo depende básicamente de las características de tiempo y reposición deseadas: es decir, si se requiere regulación de tiempo integral, inversa o directa, de una señal de error, y si ha de montarse o no el relevador de retardo inmediatamente después del funcionamiento.

Prescindiendo de las características que le dé el diseño al elemento de regulación de tiempo, cualquier acción del elemento regulador de tensión pone en funcionamiento un motor de regulación de tiempo, un embrague de motor, o un elemento térmico; o mueve relevadores auxiliares usados para dar características especiales de funcionamiento al relevador de retardo. Por lo tanto, aunque los contactos de salida del elemento de retardo funcionan sólo para iniciar una regulación de tensión, los componentes del regulador de tiempo están funcionando hasta cierto grado con cada fluctuación de voltaje fuera del ancho de banda fijado para el elemento regulador de tensión. Lo mismo que en el elemento de regulación de tensión, los componentes del elemento de retardo están sujetos a muchos movimientos por cada cambio de tensión.

Sistema de control estático para reguladores de etapas—Como quiera que sólo los elementos reguladores de tensión y los elementos de retardo del control son objeto de funcionamiento excesivo—el contactor de motor y el motor funcionan con poca frecuencia en comparación con ellos—un sistema de control que pueda desempeñar esas funciones con dispositivos estáticos tiene considerable mérito.

Los componentes básicos que forman parte del sistema de control estático pueden verse en la Fig. 1. Tanto el elemento regulador de tensión como el elemento de retardo son dispositivos de amplificación magnética.

El elemento regulador de tensión está compuesto, en realidad, de dos circuitos: uno de *percepción y referencia*, y otro circuito amplificador magnético de *regulación de tensión*. El funcionamiento de estos circuitos se muestra en la Fig. 2.

El elemento de retardo que opera con el regulador de tensión es igualmente estático, con la excepción de un pequeño relevador que funciona con poca frecuencia. La Fig. 3 muestra el funcionamiento del elemento de retardo.

Características de funcionamiento—Todas las posiciones necesarias para aplicaciones específicas se ajustan eléctricamente desde el frente del panel de control. La posición para el nivel de tensión constante de 105 a 135 voltios puede ajustarse con el cuadrante calibrado para etapas de un voltio. Las posiciones del compensador de caída de línea son continuas y se ajustan con un cuadrante calibrado en etapas de dos voltios. La reactancia inversa se obtiene simplemente por la selección de una de dos posiciones con el conmutador de reactancia in-

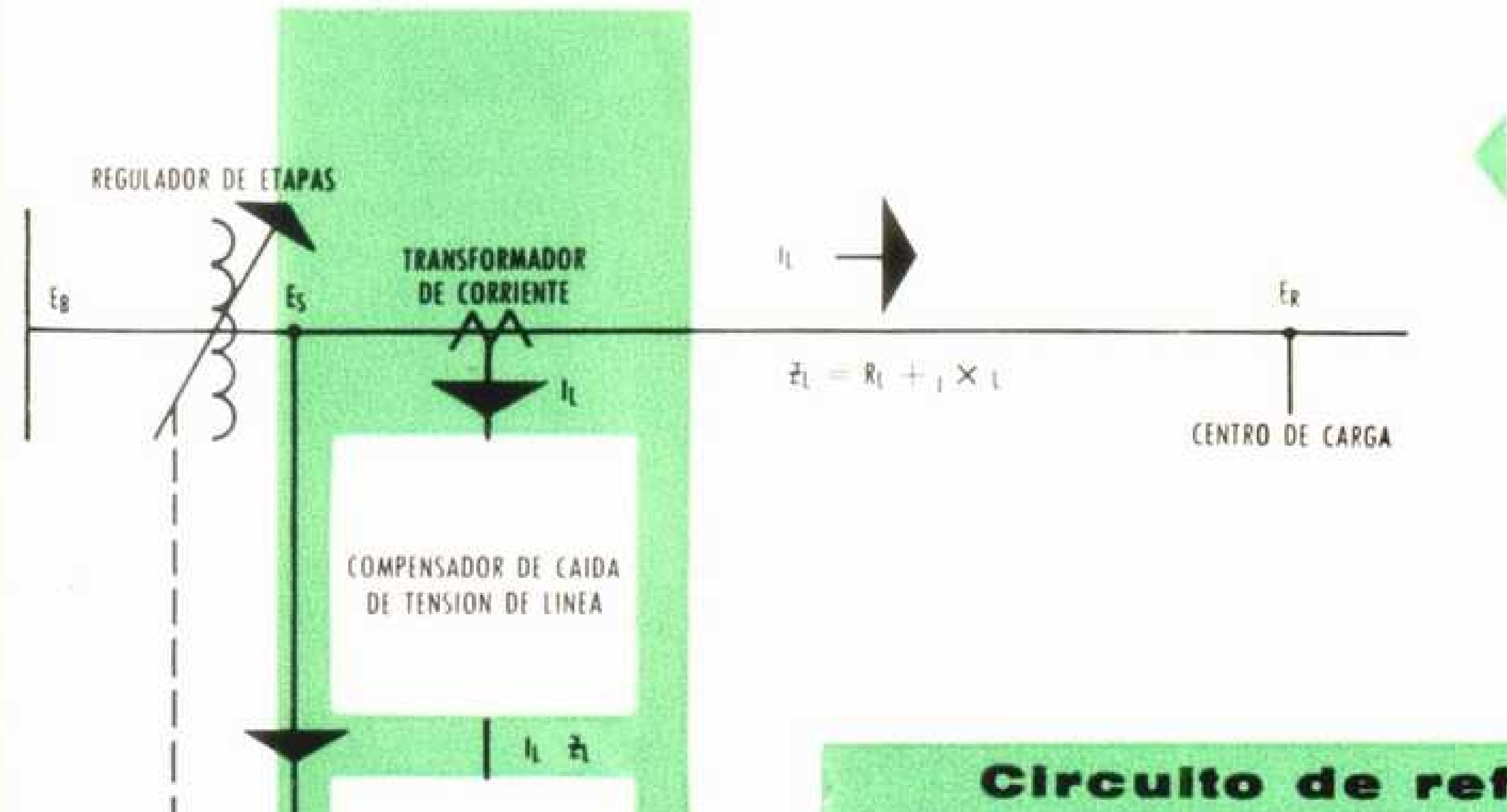


Fig. 1—Diagrama de control de un regulador de fase. Un voltaje proporcional a la caída de línea se obtiene en un circuito compensador de caída de línea, y después se rebaja de la tensión del extremo de salida, E_S (tensión de salida del regulador). La tensión resultante, que es proporcional a la tensión del centro de carga, E_R, se alimenta a alguna especie de elemento regulador de tensión. Allí se compara con una referencia constante donde un cambio predeterminado en E_R, debido bien a E_S o I_L, suministra energía a un elemento de retardo. El retardo se inserta para anular las fluctuaciones menores y con ello reducir el funcionamiento innecesario del regulador de tensión. Si el error existe para el tiempo fijado del elemento de retardo, el motor del regulador de tensión recibe energía, hace funcionar el regulador y corrige el voltaje.

Circuito de referencia y percepción de voltaje

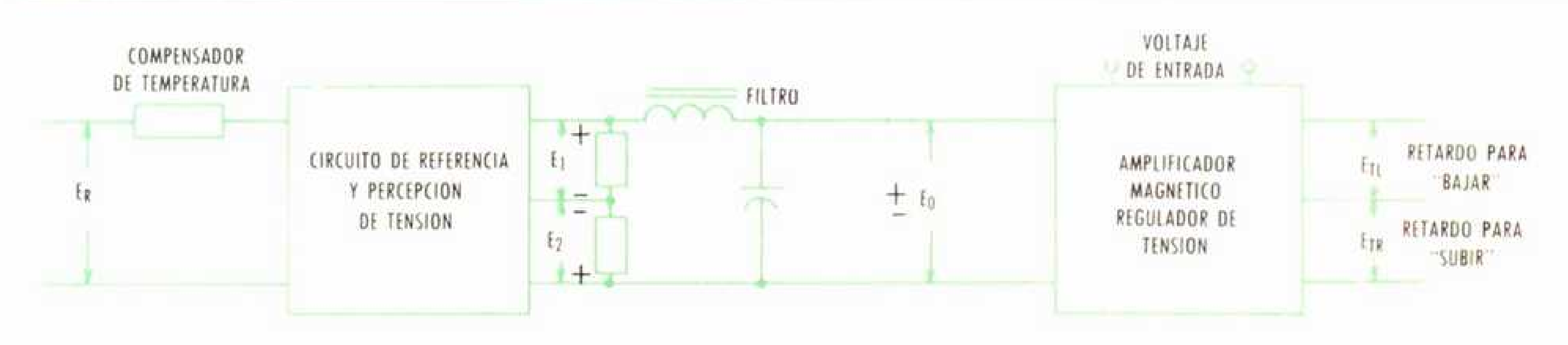


Fig. 2—El circuito de referencia y percepción de tensión consiste en un transformador de saturación y rectificadores que miden el valor medio de la tensión del centro de carga (E_R) que se le aplica. La combinación del circuito tiene dos salidas de potencia. A la tensión equilibrada señalada, las dos salidas (E_1 y E_2) son iguales y por lo tanto no aparece error de voltaje (E_0). Cualquier desviación del nivel de equilibrio produce un error de tensión de una polaridad para indicar la dirección del cambio de tensión con respecto al equilibrio. Este error de tensión se aplica como señal a un amplificador magnético de regulación de voltaje, cuya potencia de salida da energía al elemento de retardo cuando el voltaje del centro de carga (E_R) se desvía del ancho de banda de voltaje predeterminado.

Dos amplificadores magnéticos con sus bobinas de control conectadas en oposición componen el control amplificador magnético del regulador de tensión al que se envía el error de voltaje del circuito de referencia y percepción. Un error de voltaje positivo resultante de un aumento en E_R por encima de la posición ajustada para el ancho de banda hace que la unidad de reducción produzca un voltaje de corriente continua E_T de una polaridad, que se aplica al elemento de retardo. El compoundaje lo proporciona la realimentación positiva, con lo que, una vez que el error de tensión ha excedido el ancho de banda fijado, el error tendrá que disminuir en una cantidad definida antes de interrumpir la entrada de corriente al retardo. Esto asegura un funcionamiento estable y permite que el sistema interprete adecuadamente una corrección de etapa de E_R que facilitan inherentemente los reguladores de etapas. Un caso semejante ocurre con un error de tensión negativo; cuando E_R baja a un valor inferior al ancho de banda fijado, dando así un voltaje de salida de c.c. E_T de polaridad opuesta.

versa. El ancho de banda se fija con un reóstato que tiene una posición mínima de ±1 voltio y una máxima de ±3 voltios. Sólo se necesita una posición de retardo por etapas de 1 segundo para "elevar" y "bajar" el funcionamiento con objeto de obtener retardos desde 5 hasta 90 segundos. El retardo tiene por base un error de tensión existente todo el tiempo señalado en el cuadrante. Se ponen luces indicadoras para mostrar cuándo se ha salido el voltaje del ancho de banda. En el frente del panel de control hay también terminales de prueba de potencia y de corriente de 5 amperios.

Sistema de control estático para reguladores de inducción

El funcionamiento de un regulador de inducción ocurre generalmente sin retardo cuando la tensión sobrepasa el ancho de banda señalado. Este método de funcionamiento da por resultado cierto número de correcciones de tensión. El regulador de inducción es inherentemente capaz de funcionar en esta forma porque no tiene contactos de circuito principal y su acción mecánica es sencilla, sin requerir más que un medio de fijar la posición del rotor. Se han hecho continuamente esfuerzos para crear elementos de control que tengan una duración útil igual a la del propio regulador. Sin embargo, en general los elementos de control han continuado siendo una limitación de la capacidad de servicio del regulador y, en algunos casos, ha resultado ventajoso limitar el número de operaciones permitiendo un retardo después de que el voltaje sobrepasa el ancho de banda fijado, antes de que funcionen los relevadores de control del motor.

Con el perfeccionamiento del control automático completamente estático, la duración del elemento de control en actividad queda eliminada como limitación del número de veces que funciona el regulador. De los controles se han suprimido todos los aparatos de retardo, y el regulador corrige la tensión tan pronto se desvía del ancho de banda fijado de antemano. Este sistema de control estático es análogo al del regulador de etapas, excepto en la omisión del circuito de retardo.

El elemento regulador de tensión es semejante en diseño y funcionamiento al elemento regulador de tensión del regulador de etapas. Cuando el voltaje aplicado es distinto de la tensión equilibrada, existe una diferencia o un error de tensión. Este error de tensión se aplica como señal de voltaje de entrada a un circuito amplificador magnético de regulación de tensión, que lo amplifica y aplica como señal de entrada de potencia al elemento de control del motor.

El motor rectifica la posición del rotor del regulador para que la tensión regulada vuelva al centro del ancho de banda. La regulación se consigue por medio de una realimentación positiva para que una vez que el error de tensión haya sobrepasado el ancho de banda fijado, baje hasta cerca del centro de éste antes de cortar la entrada de corriente para el período de funcionamiento del motor. Esta característica tiene notable importancia en la economía de la aplicación del regulador. Haciendo que la tensión de salida vuelva al punto de equilibrio fijado tantas veces como se necesite una corrección de tensión, se reduce al mínimo el ancho de banda efectivo del sistema de distribución. El logro de un mínimo efectivo de ancho de banda con regulación de tensión de alimentación permite una utilidad apreciable en los ingresos económicos del servicio, que en muchos casos justifica con creces el costo de la instalación de un regulador de inducción. Tanto la variación de tensión permisible del ancho de banda como la vuelta del voltaje a un valor medio se ajustan simultáneamente por medio de una perilla en el frente del panel.

El elemento de control del motor es un amplificador magnético de una sola etapa y del tipo de autosaturación. Actúa como un interruptor estático para aplicar o quitar la corriente al motor según la señal recibida del elemento regulador de la tensión. Al aplicar la corriente, el motor vuelve a ajustar el rotor del regulador para que la potencia de salida regulada vuelva al centro de la banda.

El uso del control completamente estático en los reguladores de inducción abre una nueva perspectiva de funcionamiento libre de averías o dificultades, con mayor economía de funcionamiento a consecuencia de los anchos de banda de tensión efectiva más estrechos que hace posible. Con su uso, se simplificará considerablemente el programa habitual de inspección, mantenimiento y reparación de piezas de control.

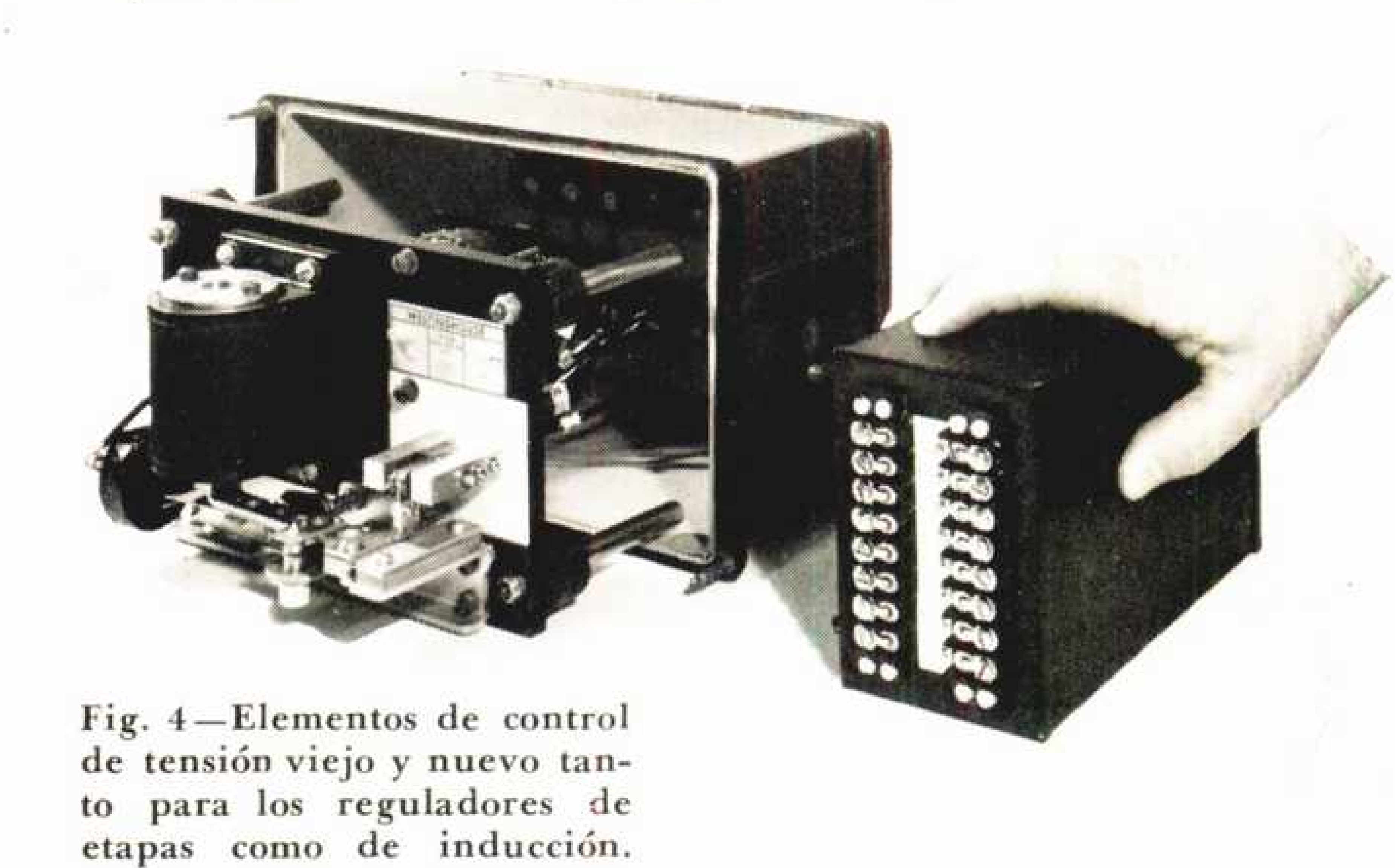


Fig. 4—Elementos de control de tensión viejo y nuevo tanto para los reguladores de etapas como de inducción.

Circuito de retardo

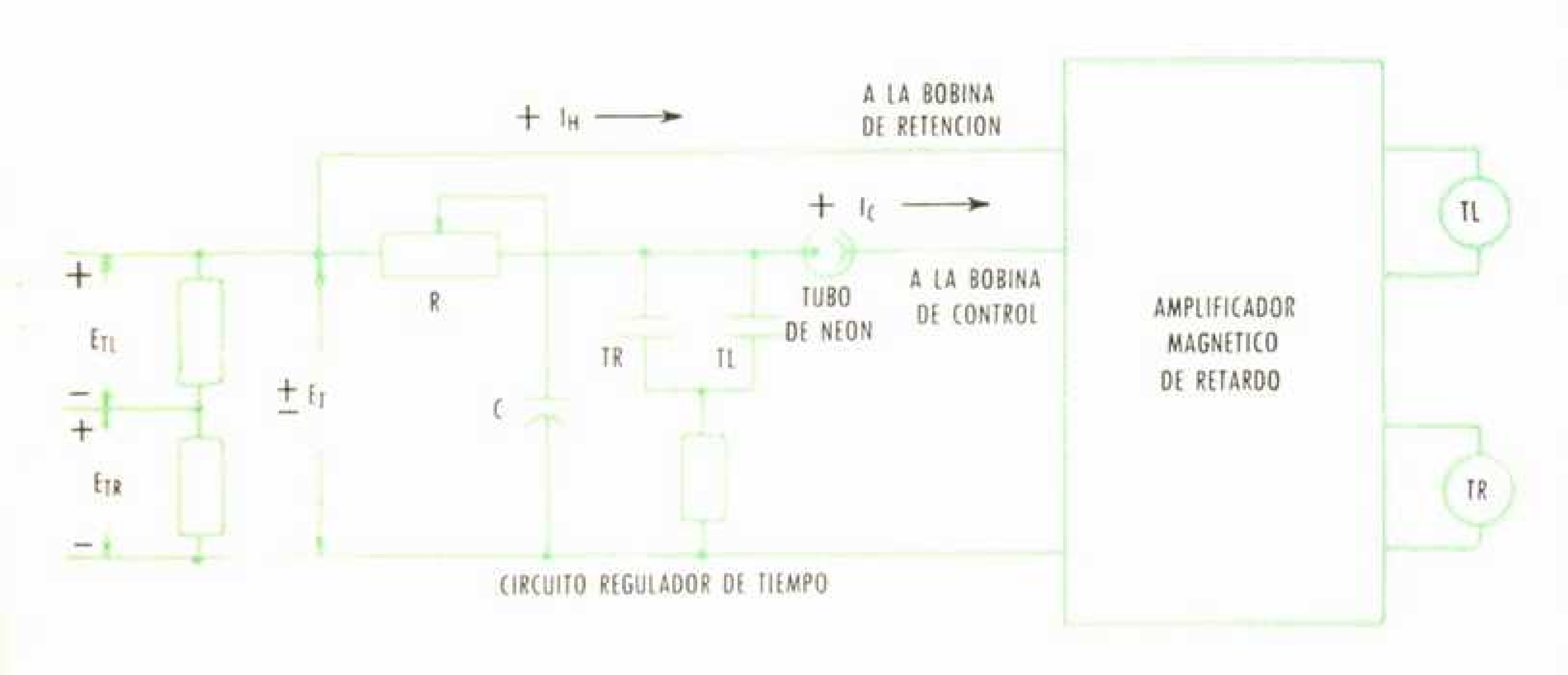
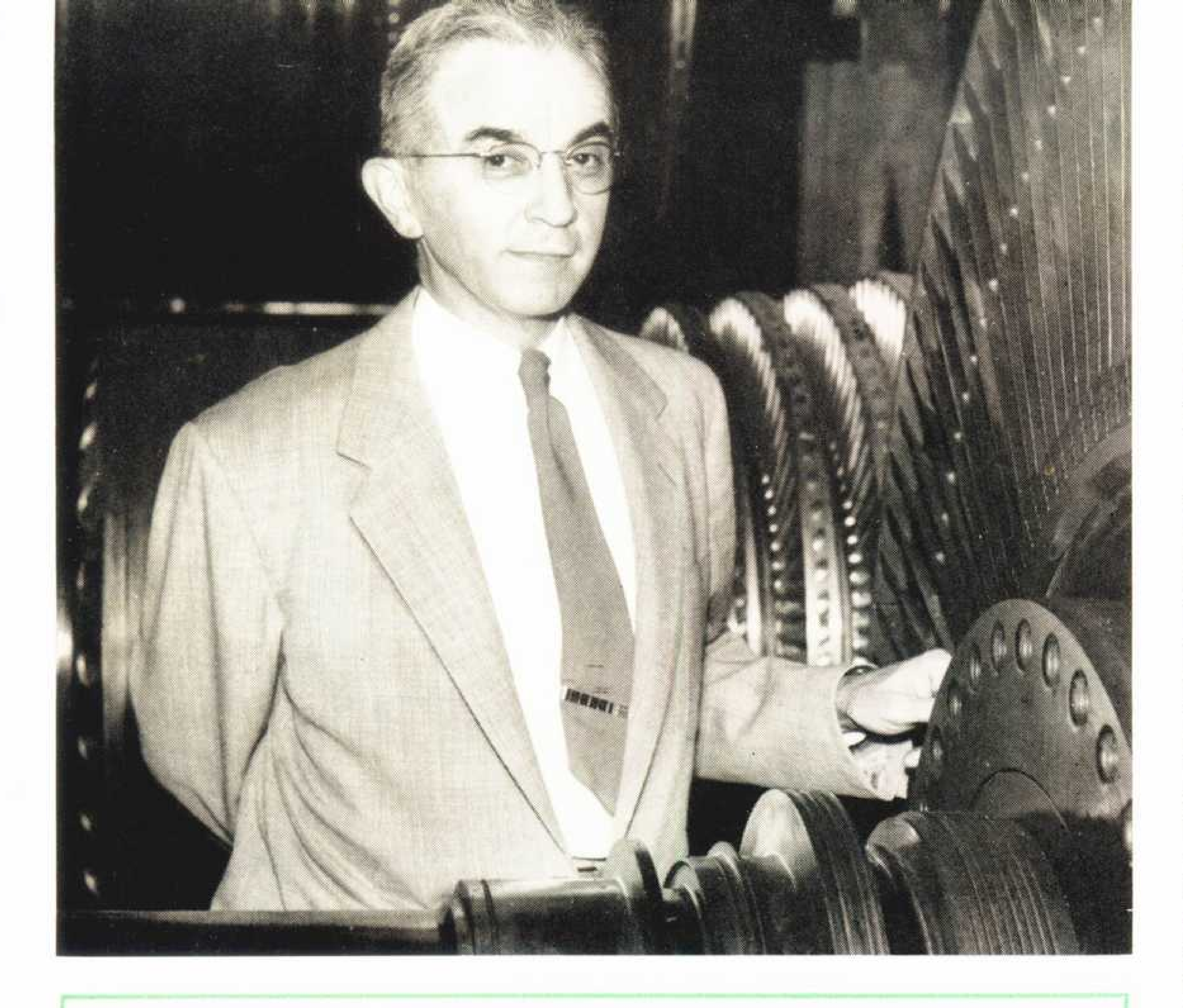


Fig. 3—La tensión de retardo, E_T, del amplificador magnético de regulación de tensión se aplica a un circuito de retardo RC que controla otro amplificador magnético biestable. Arriba puede verse el circuito básico de reglaje con sus características de retardo. La tensión, E_T, de una polaridad determinada (dependiente de la dirección del desequilibrio de tensión) se aplica a la red RC, según se muestra. Para los largos retardos necesarios, la corriente de carga por medio de la resistencia de la red RC es demasiado pequeña para ser aprovechable. Sin embargo, cargando lentamente el condensador, un tubo de gas neón limita el voltaje aplicado al condensador, y cuando éste sube demasiado lo descarga rápidamente y envía una corriente de señal pulsatoria (I_C) a la bobina de control de un amplificador magnético. Otra corriente de señal (I_H) aplicada directamente al amplificador por E_T mantiene la conducción del amplificador. Cuando se quita E_R, la energía de salida del amplificador desciende hasta su valor de interrupción.



Personalidades de la *ingeniería*

C. B. Campbell

¿Quien tiene en Westinghouse más experiencia que nadie con las turbinas de vapor?

Esta pregunta hecha recientemente a la compañía tuvo una contestación inmediata, dada sin vacilación: C. B. Campbell. Por esa razón Campbell se encontró entre los pocos ingenieros que representaron a la División de Vapor a bordo del submarino movido por energía atómica "Nautilus" al hacer su primera prueba de sumersión.

En forma parecida, la seguridad dada por Campbell de que una turbina de vapor de 2½ toneladas y 650° centígrados es una idea tan viable como progresiva desde el punto de vista de la ingeniería fué un factor importante en la decisión de la Philadelphia Electric Company de encargar a Westinghouse la construcción de esta máquina revolucionaria que generará más de un cuarto de millón de kilovatios.

Tal es la reputación de Campbell en la industria. Se basa en una ejecutoria de 35 años de trabajo intenso con turbinas de vapor para servicios públicos, empresas industriales y propulsión de buques, en la cual sus juicios han adquirido internacionalmente fama de ser a la par adelantados y dignos de confianza, conservadores y al mismo tiempo atrevidos.

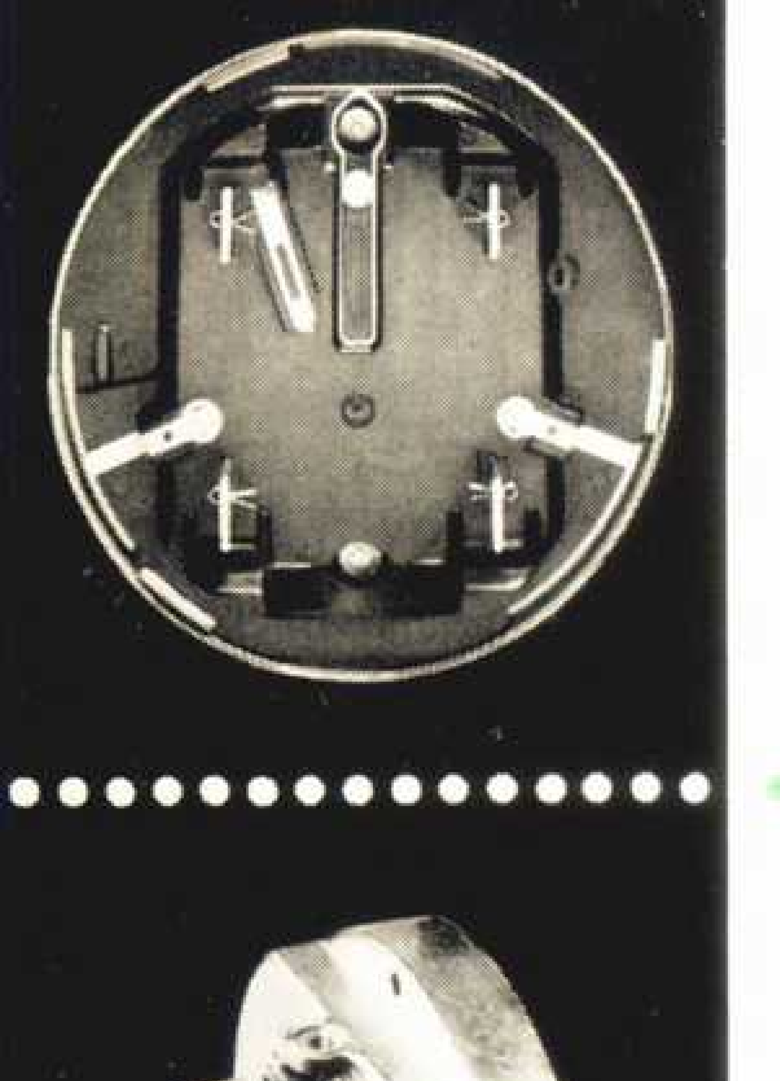
Cuando era alumno de la Universidad de Michigan, donde se recibió de ingeniero mecánico en 1919, Campbell adquirió una gran afición a las turbinas de vapor y se hizo la determinación de participar en su desarrollo. Por consejo de su asesor de la facultad universitaria vino a Westinghouse, al curso de aprendices.

Después de un año de trabajar en varias secciones de los talleres, pasó otro año y medio en el tablero de dibujo. Esto fué seguido de nueve años en el diseño de turbinas de vapor industriales, tiempo durante el cual se desarrolló en vastas proporciones el ramo de utilización de la fuerza del vapor generado para fines industriales. Al principio de este período, Henry Schmidt estaba desarrollando su regulador hidrodinámico, hoy ya famoso. Campbell fué destinado a cooperar en esta labor, y después se encargó de establecer los principios básicos en que se fundan los presentes sistemas de control hidráulico. Como fruto de esta clase de trabajos, Campbell tiene varias patentes. Al final de esos últimos años, empezó a trabajar más con las grandes máquinas de las centrales de energía, hecho que fué recompensado en 1930 poniendo bajo su dirección la sección de Ingeniería de Turbinas de Estaciones Centrales. Cuatro años después se le confió el cargo más importante de gerente de Ingeniería de Turbinas Terrestres, que desempeñó hasta que se le nombró gerente del Departamento de Ingeniería de la División de Vapor. Actualmente es ingeniero jefe de esa División de Vapor. Su larga y variada experiencia con turbinas de vapor le es sumamente útil en el asesoramiento y la dirección de los ingenieros en todas las fases de la ingeniería de turbinas y centrales de fuerza motriz. En cuanto alguien tiene un problema relacionado con turbinas, el primer pensamiento que brota en su mente es: "Llamemos a C. B.".

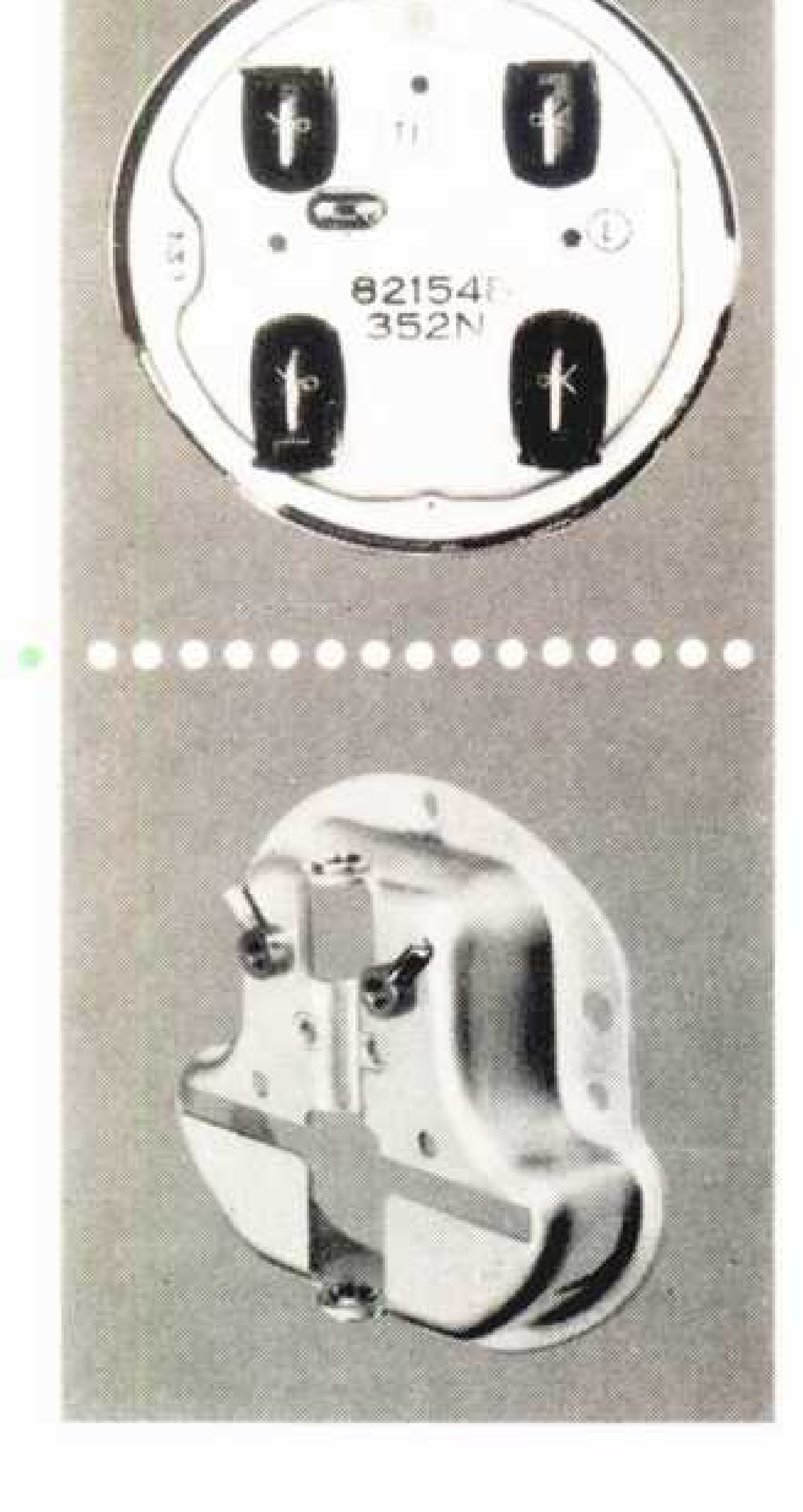
Campbell ha tomado parte en muchos adelantos interesantes de las turbinas. Por ejemplo, sus actividades han abarcado las fases más importantes del desarrollo de la turbina de alta velocidad, en la que Westinghouse fué la primera entidad que trabajó. Cuando él apareció en escena, la mayor unidad de turbogenerador de 3600 r.p.m. existente era sólo de 6000 Kv. El tomó parte principal en la introducción de las turbinas superpuestas, que se construyeron en gran número a fines de la década 1930–40. La unidad de 165000 Kv y 1800 r.p.m.—"Big Ben"—instalada en 1935 en la Estación de Richmond de la Philadelphia Electric Company, es todavía la mayor máquina del mundo de 1800 r.p.m. y un solo árbol de transmisión. Campbell dirigió su diseño. Su actividad abarca también la maquinaria para propulsión de buques, entre los cuales los más dignos de mención son el "*United States*", el portaviones "*Forrestal*", y los presentes buques de guerra movidos por energía nuclear.

A lo largo de su carrera, Campbell ha cosechado muchos y merecidos honores. Fué elegido correspondiente de la ASME en 1953, y ha pertenecido a muchos de sus comités nacionales y locales. Es también miembro de las fraternidades Sigma Xi y Tau Beta Pi. Con destino a la Conferencia Mundial de Fuerza Motriz de Londres de 1950, Campbell presentó un sumario de los progresos de los Estados Unidos en turbinas para estaciones centrales. Recientemente fué también elegido miembro del Comité de Ciencias y Artes del Instituto Franklin.

Campbell es un buen escritor, aptitud que quizá date de los tiempos en que ayudaba a su padre a publicar un diario. Tenemos también la sospecha de que Campbell habría sido igualmente un buen educador. Esto lo demuestra el gran interés que se ha tomado en ayudar a los jóvenes ingenieros que a lo largo de los años han venido a caer bajo su influencia. Está dotado de gran paciencia y posee una facilidad extraordinaria para explicar las cuestiones técnicas. Y, lo que es más importante, parece experimentar en ello gran satisfacción, pues sus conversaciones se animan con la abierta sonrisa y la simpática y campechana risilla que han llegado a conocerse como sus características personales. A pesar de su cabello, que empieza a blanquear, es tan juvenil en su aspecto físico como en sus ideas. Y, en lo que a éstas se refiere, cuando se habla de turbinas de vapor, se dice justamente con respecto a "C. B.": "Puede estar *seguro*, si lo dice Campbell".



Izquierda, conjunto de base de Micarta del nuevo contador DS, mostrando los descargadores De-ion. Derecha, base metálica del antiguo modelo CS.

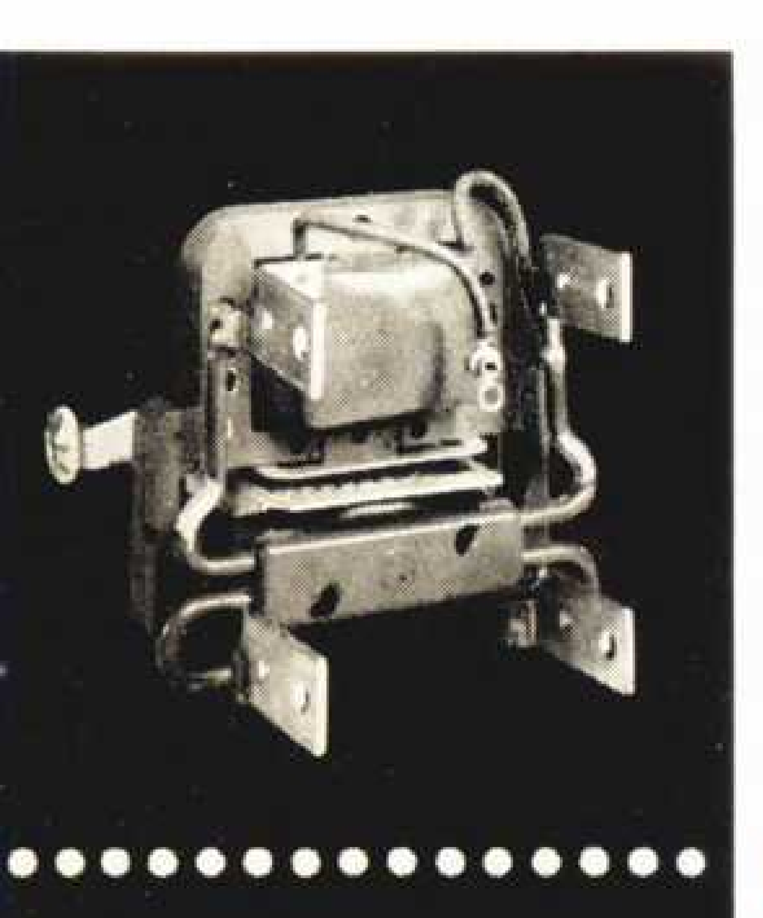




Izquierda, la armazón moldeada del nuevo contador DS mantiene todos los componentes alineados. Der., la armazón de acero estampado del CS.



consideraciones sobre el diseño . . . . . *del*

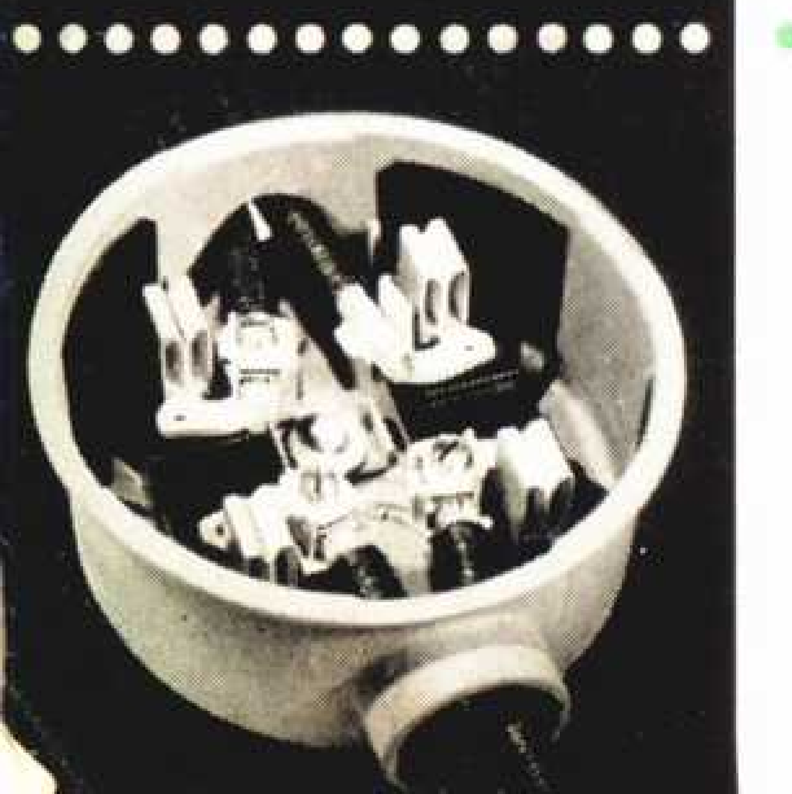


Izquierda, conjunto del electroimán del contador DS, mostrando las bobinas de corriente aisladas con poliéster y arrolladas en molde. Der., conjunto del contador CS; véanse las bobinas arrolladas a mano.





Izquierda, vista del nuevo contador DS. Los cuadrantes tienen acabado permanente especial resistente a la descoloración. Derecha, el contador CS.



Izquierda, nuevo enchufe de 100 amperios. Obsérvense los terminales de autoalineación. Der., el viejo enchufe. El modelo DS ofrece máxima resistencia a la corrosión.



Contador "Eterno"

Warren Schmidt
y Ray Forrest
División de Contadores
Westinghouse Electric Corporation
Newark, Nueva Jersey

Pocos aparatos funcionan tan continuamente y con tanta precisión como el contador de vatios-hora. Sin embargo, a pesar del alto grado de confianza que ya ofrecía, el contador de vatios-hora ha experimentado recientemente un importante cambio de diseño que representa un perfeccionamiento aún mayor. El resultado es un nuevo aparato, al que se ha dado adecuadamente el nombre de contador "eterno" y que tiene, entre otras innovaciones, un registro preciso de carga en una zona más ancha, mayor estabilidad eléctrica y mecánica, y una duración potencial más larga.

Gama de registro de carga

Antes de 1924, todos los contadores de vatios-hora comerciales tenían una notable disminución de la exactitud del registro al rebasar su capacidad nominal. Poco después de 1920, el extenso desarrollo que adquirió el uso de los accesorios eléctricos domésticos recargó el contador ordinario por encima de su capacidad. La pérdida potencial de ingresos que esto significaba para las empresas de suministro de energía eléctrica condujo a la fabricación de contadores que registraban con precisión hasta el 200 por ciento de su capacidad nominal. Un excesivo par de retardo producido por la sobrecarga causaba la deficiente precisión del registro. Esto se compensó con derivaciones magnéticas saturables que redistribuían el flujo de la corriente en el electroimán durante las sobrecargas, con lo que extendían el radio efectivo de registro.

Para 1940, la característica de curva de carga rebajada se había extendido hasta el 400 por ciento de las características nominales. Con esto un contador de 15 amperios podía registrar con precisión hasta 60 amperios, cosa que era suficiente hace quince años para la mayor parte del servicio doméstico monofásico.

Durante 1953, el promedio de consumo doméstico anual de energía eléctrica aumentó hasta más de 2500 kilovatios-hora. El aumento, tanto efectivo como potencial, fué alarmante hasta el extremo de que ya se estimó injustificada la instalación de contadores menores de 100 amperios, por considerarse que iban a perder su utilidad mucho antes de que llegara el momento normal de retirarlos.

Hacía tiempo que se conocía otro método de ampliar la zona de sobrecarga. Consiste en reducir la velocidad del disco con carga plena aumentando la fuerza de los imanes amortiguadores. El resultado es el aumento de la relación entre el par total de retardo y el producido por el aumento del flujo de corriente causado por la sobrecarga. El problema del diseño giraba alrededor de dos factores: había que mantener un vatiaje inicial bajo y debía evitarse un alto esfuerzo lateral sobre los sistemas de cojinetes.

En los nuevos contadores "eternos" la velocidad del disco a la carga nominal ha sido rebajada de 30 a $16\frac{2}{3}$ r.p.m. Mediante un equilibrio cuidadoso de los componentes magnéticos, el esfuerzo lateral en los cojinetes es de hecho más bajo que en el anterior contador de mayor velocidad. Tanto los contadores monofásicos como los polifásicos tienen ahora una gama efectiva hasta el 667 por ciento de la carga nominal.

Estabilidad eléctrica y mecánica

La estabilidad de un contador es su capacidad inherente para mantener su precisión inicial a través de muchos años de funcionamiento continuo. Esto implica la robustez suficiente para resistir choques o golpes mecánicos severos o prolongados, como los que pudiera experimentar en un viaje largo por ferrocarril, sin que esos golpes afecten su calibración.

En lugar de una caja de acero estampado, una nueva armazón moldeada a presión contiene todos los componentes de funcionamiento en una alineación precisa y permanente. Las monturas de los cojinetes superior e inferior se labran con precisión en la armazón misma, eliminando así manguitos y cuñas suplementarias. Espigas ahusadas mantienen en posición el electroimán y evitan desviaciones. Igual que antes, las bobinas de potencia están construídas en una sola unidad sólida por impregnación al vacío con una resina de poliéster termoestable. En lugar de bobinas de corriente arrolladas a mano, el nuevo contador tiene bobinas arrolladas mecánicamente en una matriz aislante de poliéster moldeada sólidamente alrededor de las laminaciones.

Los tornillos de ajuste están montados sobre muelles para mantener inmóviles los ajustes de calibración, en lugar de hallarse éstos a merced de la fricción entre las partes.

Todas las bobinas tienen amplia capacidad de conducción de corriente, y se usan terminales soldados con latón en lugar de las antiguas conexiones de tornillo. Como antes, las laminaciones del electroimán son tratadas especialmente para impedir la formación de corrientes parásitas que puedan afectar la calibración.

Para prevenir cualquier variación en la precisión, producida por cambios de fuerza de los imanes amortiguadores, se usa una aleación al Alnico de alta coerción. El nuevo imán es casi inmune a los campos parásitos de desimantación originados por c.c. y c.a., y los imanes están protegidos de las sobrecorrientes debidas a descargas atmosféricas hasta de 40 000 amperios y onda de 20 por 50 microsegundos.

Duración potencial

Los enemigos de la larga duración de un contador son la corrosión, el desgaste y las quemaduras. La resistencia a la

corrosión fué una de las principales cosas que se tuvieron en cuenta al diseñar el contador "eterno", y todos los materiales fueron elegidos y tratados para conseguir la máxima estabilidad química. La nueva base de contador de tipo de enchufe, que reemplaza a la antigua base de acero barnizado de laca, es de Moldarta de alta resistencia al impacto. Aun a temperaturas elevadas, los materiales usados no emiten vapores corrosivos que puedan atacar las partes metálicas. Todas las partes de aluminio están protegidas por un acabado de iridita, y todo el engranaje del registro tiene enchapado de oro. Las laminaciones del electroimán son bonderizadas por separado, y todo el conjunto del electroimán está barnizado de laca. Los cuadrantes blancos tienen un nuevo acabado permanente creado especialmente con este fin, que no se descolora ni siquiera después de la severa prueba de 24 horas a 165 grados centígrados. En lugar de una junta plana y dura, un anillo de neopreno esponjoso, embutido en la base, se comprime hasta formar un cierre ajustado y blando cuando se coloca la cubierta de cristal.

El elemento móvil gira sobre una bola de acero al cromo entre dos cojinetes cóncavos de zafiro, que están casi exentos de fricción aun después de muchos años de servicio continuo. Un equilibrio cuidadoso entre los pares de impulso y amortiguación produce un bajo esfuerzo lateral en el cojinete de guía superior y un desgaste insignificante.

Para la protección contra las averías por fusión originadas por rayos se usan entrehierros De-ion que descargan fuera del contador. La descarga se produce a un impulso de 7000 voltios que, por ser inferior al límite mínimo de aislamiento de las bobinas—10 000 voltios—ofrece seguridad absoluta.

El contador "eterno" no requiere esencialmente mantenimiento, excepto para la necesaria limpieza de los zafiros y los cojinetes a intervalos de prueba fijados de antemano. En muchos sitios, estos intervalos son ahora de ocho años, y pueden alargarse aún más en el futuro. La duración normal en servicio del nuevo contador, libre de averías, se calcula en 30 años por lo menos.

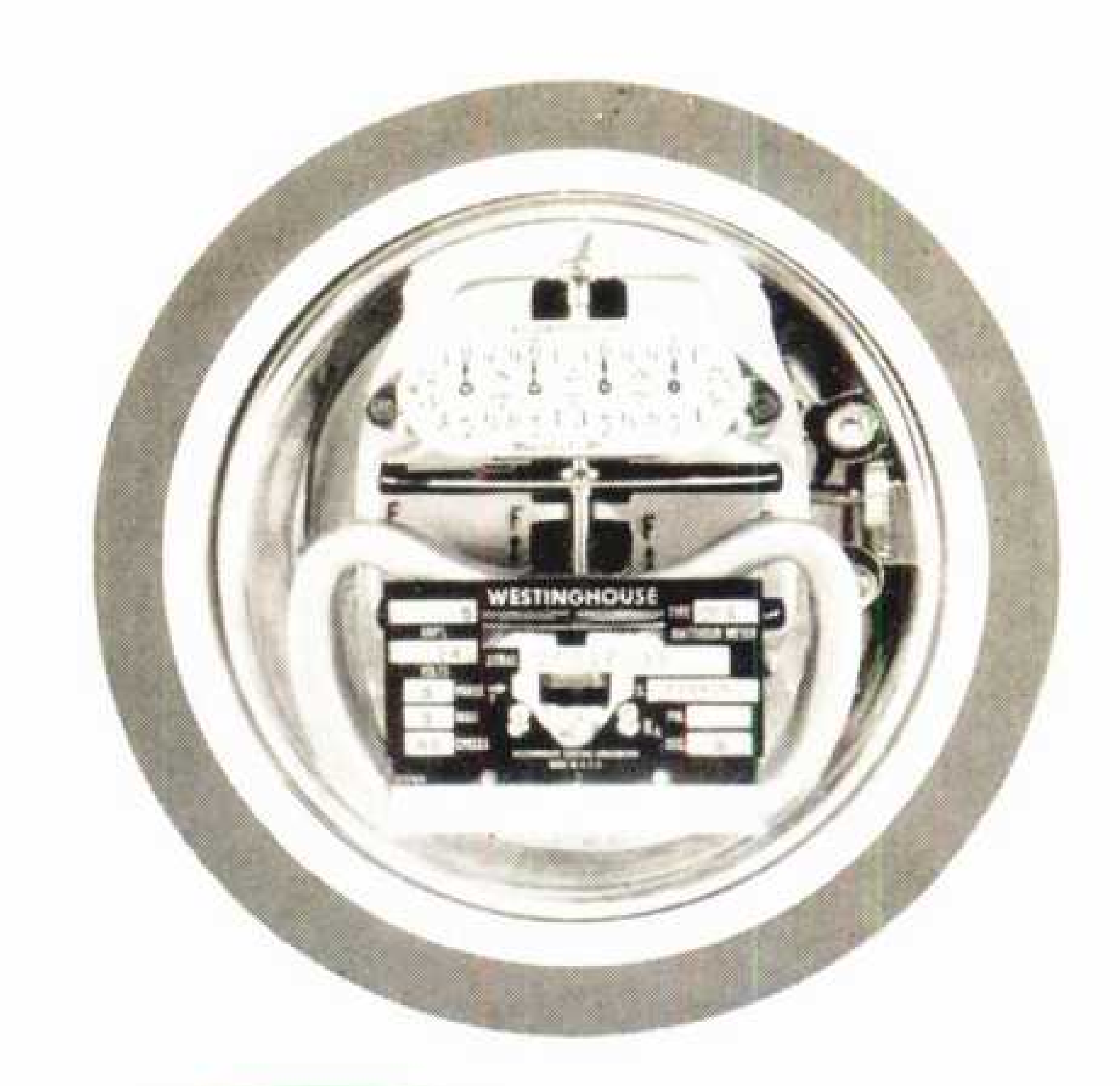
Los componentes tales como cojinetes, registros y partes móviles son comunes a los contadores tanto monofásicos como polifásicos, con lo que se reduce el número de piezas de repuesto necesario para su cuidado normal.

El contador monofásico

Los contadores monofásicos "eternos" son el tipo DS para montaje de enchufe y el tipo DA para montaje en panel con conexión en la base. El contador de tres conductores se proyectó y construyó con características nominales de 15 amperios, para cargas hasta de 100 amperios y con características de 30 amperios, suficientes hasta 200, en contraste con la gama de 60 a 120 amperios de sus correspondientes predecesores.

Los ajustes de calibración son fácilmente accesibles y accionables a mano o con un destornillador. Para simplificar el ajuste, tanto el tornillo de ajuste de carga completa como el de carga ligera tienen prácticamente una sensibilidad lineal de un uno por ciento por vuelta en más o en menos y gama de ajuste de 10 por ciento en ambos sentidos. El ajuste del factor de potencia, que antes era un bucle de alambre soldado a mano, es ahora una calibración de fábrica prefijada y permanente.

Los entrehierros de seguridad contra descargas se disponen para descargar fuera del contador. El principio de desionización reduce al mínimo la quemadura de los contactos aun con descargas repetidas. Si llegase a averiarse el electrodo exterior, puede reemplazarse fácilmente sin necesidad de quitar la cubierta de cristal.





Arriba, el antiguo contador polifásico CS-2; véanse los dos discos. Izquierda, el nuevo contador de un solo disco DSP-5.

Derecha, el nuevo contador polifásico DSP desarmado. Como puede verse, los tornillos de ajuste son accesibles desde el frente.

La armazón tiene nuevos protectores de disco para evitar daños de éste o de los cojinetes si se apoya el contador sobre su frente durante la inspección o el mantenimiento. Como todos los contadores Westinghouse, el registro tiene soporte de bayoneta y no necesita ajuste para un montaje perfecto.

El contador polifásico

Cuando aparecieron por primera vez los circuitos trifásicos de tres alambres, se medían con dos contadores de elemento y registro individual. La suma algebraica de las lecturas del registro indicaba el consumo de energía del sistema. En 1896, Shallenberger ideó un solo contador en el cual dos elementos, actuando sobre un disco único, hacían funcionar un solo registro que integraba las lecturas combinadas.

Cuando se aplica más de un electroimán a un disco único, las corrientes inducidas en éste por un electroimán reaccionan con los flujos inducidos por los otros, causando un registro imperfecto. En el contador Shallenberger un disco de gran diámetro reducía esta interferencia a un mínimo, pero el problema distaba mucho de estar resuelto. Había la alternativa más simple de usar un disco separado para cada elemento.

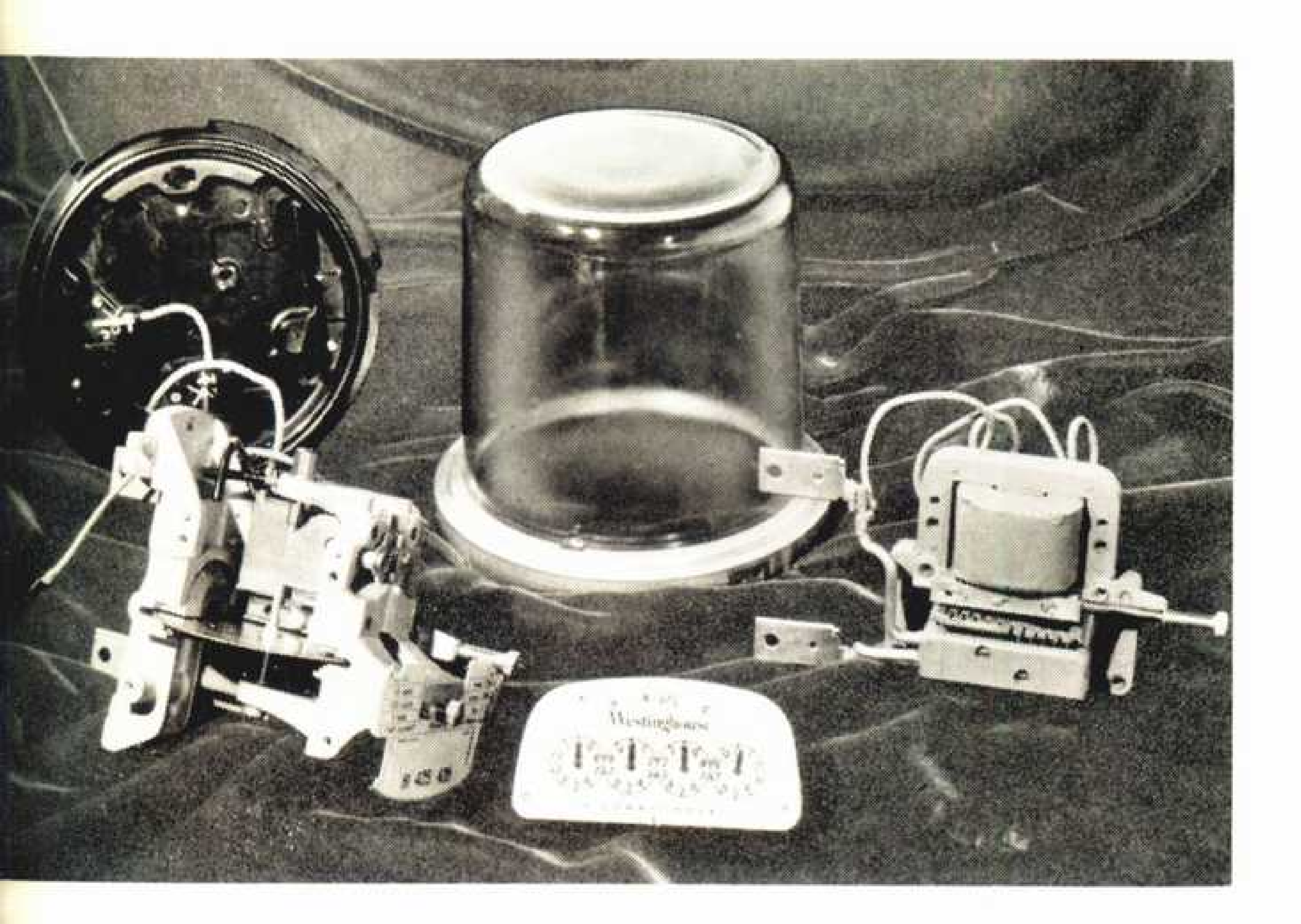
A principios de 1898 se patentó el primer contador de inducción polifásico de discos múltiples. El uso de dos discos separados que funcionaban sobre un eje común eliminó eficazmente la interferencia, y este contador fué el primero que funcionó bien con cargas desequilibradas. Una de sus mayores desventajas consistía en su peso y su excesivo volumen.

Los ingenieros consagraron, por lo tanto, sus esfuerzos a producir contadores polifásicos más compactos, sencillos y económicos. A lo largo de los años estas tentativas han seguido dos principales líneas generales: el perfeccionamiento del contador de discos múltiples, y la creación de contadores de disco único a los cuales estuvieran incorporados los medios de eliminar la interferencia entre los elementos.

Para 1936, el contador polifásico de doble disco ya había sido reducido a un tamaño comparable al del contador monofásico. Había también contadores polifásicos de disco único, pero éstos requerían discos de laminaciones o con ranuras radiales para reducir la interferencia mediante la localización de las corrientes parásitas.

El perfeccionamiento del diseño del contador monofásico "eterno" en 1954 atrajo la atención hacia la necesidad de un tipo polifásico correspondiente, al que se hubieran incorporado las nuevas características, incluso la de gama ampliada. Parecía conveniente la retención de las ventajas de la estructura básica del electroimán del contador monofásico. En este caso sería imposible un diseño de discos múltiples a causa del tamaño. Por lo tanto, se decidió la construcción de contadores de disco único para preservar el tamaño pequeño del contador polifásico y la reducción del número de ajustes.

Entonces, antes de seguir adelante hubo que buscar solución al problema de las interferencias de voltaje y corriente. Hasta ese momento se utilizaban varios métodos de compensación; entre ellos figuraban los discos de laminaciones, la protección magnética, los discos ranurados y los puentes



magnéticos para transportar un flujo compensador de un electroimán al otro.

Reducida a sus términos más simples, la interferencia puede considerarse originada en tres acciones distintas entrelazadas entre las corrientes parásitas del disco y los flujos de los polos del electroimán: primera, la interferencia de voltaje, causada por flujo del polo de energía actuando en combinación con corrientes parásitas inducidas por el polo de voltaje opuesto; segunda, la interferencia de corriente, causada por flujo del polo de corriente combinado con las corrientes parásitas del polo opuesto; y tercera, interferencia de voltaje y corriente, causada por flujo del polo de corriente combinado con corrientes parásitas del polo de voltaje opuesto, y viceversa.

Se encontró que las causas primera y segunda de interferencia obedecían mayormente a asimetría entre los dos electroimanes y el disco. Esto puede corregirse con una disposición simétrica de los polos del electroimán con respecto al centro del disco, lo que dirige las fuerzas causadas por la indeseable acción entrelazada hacia el eje de rotación.

La tercera interferencia, debida a la acción combinada de voltaje y corriente, se elimina con una nueva disposición de los arrollamientos, conectados en forma cruzada a los polos de voltaje. Mediante una proporción correcta de la relación de las espiras de compensación con las espiras principales y la disposición adecuada de las fases, los pares de interferencia quedan completamente anulados. Una vez determinada, la compensación es apropiada para cualquier relación de fase entre los dos electroimanes y cualquier condición de carga. Esta solución permite usar un conjunto monofásico de disco sólido en el contador polifásico.

Una vez resuelto el problema de la interferencia monofásica, se tuvo un modelo práctico. La armazón moldeada consta de un componente anterior y otro posterior. Ambos están unidos por los dos electroimanes para formar un conjunto rígido de tipo de caja, que contiene los componentes de funcionamiento perfectamente alineados. El disco, los cojinetes y el registro del diseño monofásico se retienen en el nuevo modelo polifásico.

Para simplificar los problemas de calibración característicos de un contador polifásico de vatios-hora, se ideó también un sistema de ajuste simplificado. Para una carga determinada, cada elemento del contador polifásico debe producir evidentemente el mismo par en el sistema móvil. Como con los procedimientos corrientes de fabricación es casi imposible producir dos unidades productoras de pares idénticas, con cada electroimán se suministraban siempre ajustes de compensación. En el nuevo contador, en cambio, sólo se necesita un ajuste de par. Esto se consigue aplicando al electroimán no ajustable un reductor de par preparado de antemano. Una característica adicional del nuevo modelo es la compensación del ajustador de par para que no altere la relación entre la carga completa, la carga ligera y el factor de potencia.

En los contadores polifásicos corrientes se ha empleado comúnmente un ajustador de carga ligera separado en cada electroimán. Esta práctica es un residuo de los primitivos modelos, que consistían esencialmente en dos o más electroimanes monofásicos que movían uno o más discos sobre un eje común. Mediante la introducción de un ajustador de carga ligera para que realice la función específica de calibrar un contador polifásico de dos elementos, se pudo usar un ajustador único en vez de los dos corrientes. Esto se consiguió incorporando una compensación de retardo adicional al electroimán no ajustable y doblando la gama del ajustador variable.

De esta forma se ha reducido a tres el número total de ajustes; uno para carga completa, otro para carga ligera y el tercero para equilibrar las fases. La calibración de retardo del factor de potencia es prefijada. Todos los tornillos de ajuste son accesibles desde el frente del contador y pueden graduarse a mano o con un destornillador. Como en el contador monofásico, los ajustes se caracterizan por una sensibilidad de un uno por ciento por vuelta, y están montados sobre muelles. La calibración del nuevo contador polifásico es más simple y rápida que nunca, sin sacrificar precisión ni estabilidad.

Para completar el cuadro se han diseñado los correspondientes enchufes de 100 amperios con la máxima resistencia a la corrosión y gran facilidad para hacer las conexiones. Los nuevos terminales de autoalineación del tipo de barra tienen cabida para conductores de aluminio o de cobre hasta del No. 0, asegurando la capacidad necesaria para las cargas futuras.

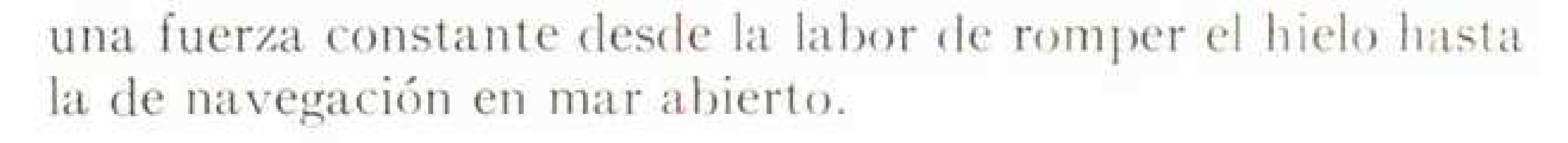
El contador de vatios-hora, que es casi tan antiguo como la propia industria del suministro de energía eléctrica, ha sufrido muchos cambios en medio siglo. El nuevo tipo de contador representa el esfuerzo importante más reciente para perfeccionar sus características y la precisión de su servicio. Como su nombre sugiere, el contador "eterno" se ideó mecánica y eléctricamente para prestar largo servicio y ofrecer confianza y precisión máximas mientras dure cumpliendo su útil misión.

equipo de propulsión

para el "Glacier"...

el rompehielos más moderno de la Armada de los E. U.

James A. Wasmund
Ingeniería Industrial
Westinghouse Electric Corporation
East Pittsburgh, Pensilvania



Los requisitos de un buque rompehielos son peculiares de la naturaleza de su misión. Para poder abrirse paso a través de las grandes masas de hielo flotante de las regiones polares, el rompehielos debe aprovecharse de las grietas que encuentre o separar los témpanos mediante una arremetida bastante fuerte para formar una grieta. Esto requiere una embarcación de poca eslora y la máxima facilidad de maniobra. El casco del buque debe ser extremadamente resistente y la máquina ha de tener la fuerza suficiente para suministrar el empuje necesario. Asimismo, como el buque puede quedar inmovilizado por el hielo por largos períodos y sus viajes pueden ser de una naturaleza tal que resulte prácticamente imposible el abastecimiento de combustible, la máquina debe ser de consumo económico durante largos períodos de funcionamiento a toda marcha así como durante las inmovilizaciones forzosas. La economía de espacio y consumo de combustible que ofrece la maquinaria de propulsión diesel-eléctrica, junto con la flexibilidad de su funcionamiento, son factores importantes en su elección para este servicio tan delicado. La necesidad de maniobra rápida y una constante aplicación de fuerza motriz en una amplia gama de velocidades de la hélice ha aconsejado el uso de los motores y generadores de c.c. para producir la fuerza de propulsión necesaria en los rompehielos.

Aunque sólo tiene 79.5 metros de eslora, el "Glacier", rompehielos más moderno y veloz de la Armada de los Estados Unidos, tiene una máquina que produce 21 000 HP, constituída por dos motores de 10 500 HP que mueven hélices gemelas. La fuerza eléctrica es suministrada a cada motor por cinco juegos de generadores diesel en paralelo. Se usa control de amplificador magnético para mantener automáticamente una fuerza constante desde la labor de romper el hielo hasta la de navegación en mar abierto.

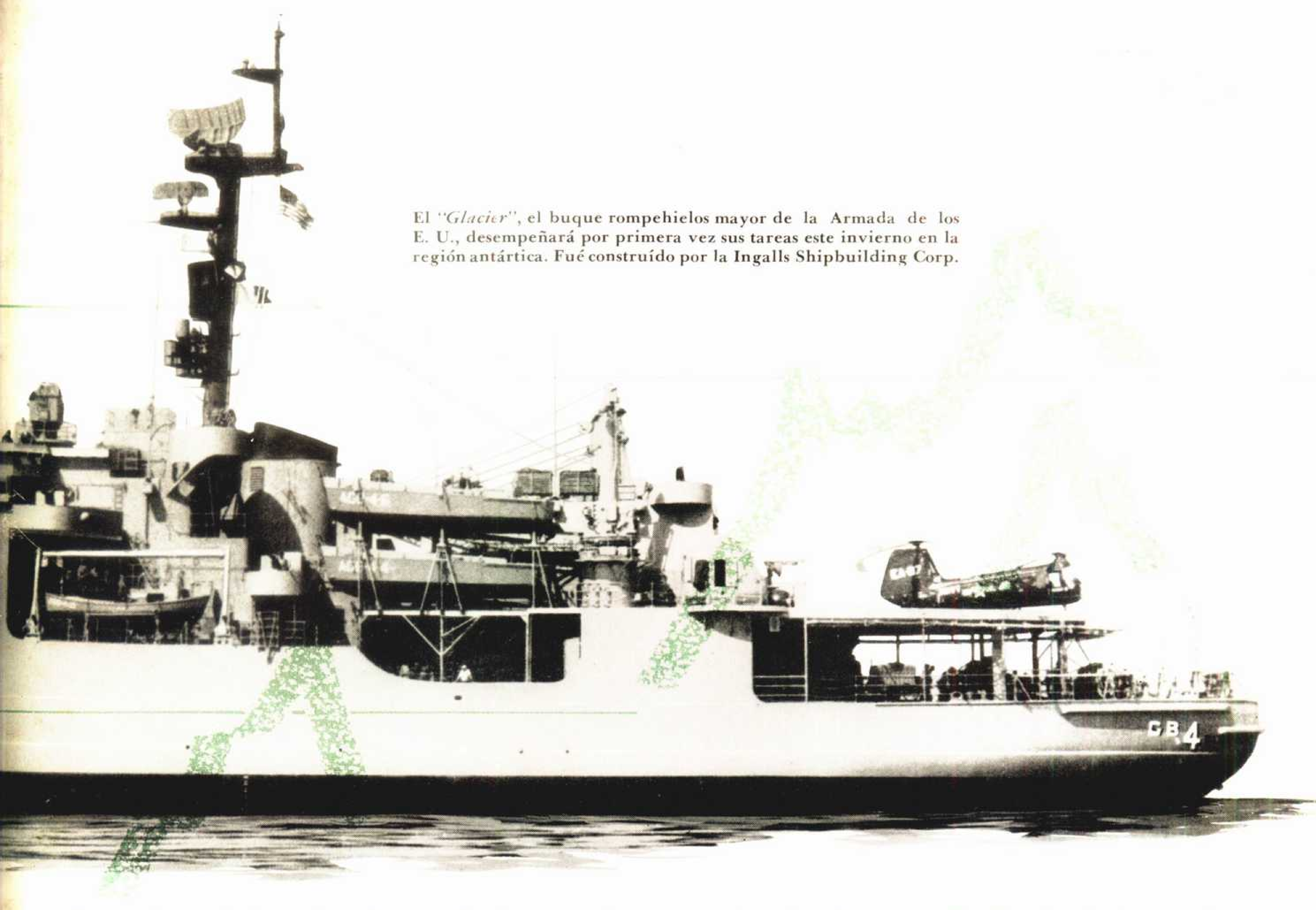
Motores de propulsión

Las especificaciones del "Glacier" exigían un motor de propulsión para cada una de las hélices, capaz de suministrar continuamente a los árboles una fuerza de 8450 HP, y 10 500 HP durante cuatro horas en una gama de velocidad de las hélices de 120 a 175 r.p.m. Para flexibilidad y seguridad, hubiera sido deseable un motor de doble inducido, pero las restricciones de peso y espacio obligaron a usar una máquina de un solo inducido. En consecuencia, los dos motores son, en fuerza nominal, los más grandes motores de c.c. de un solo inducido jamás construídos.

Los motores son de arrollamiento en derivación, excitados por separado y compensados. Cada motor se ventila a presión por medio de dos ventiladores de corriente axil montados en un mamparo. Los extremos anterior y posterior del motor están separados por el mamparo en que van montados los ventiladores. La cámara posterior está bajo presión para que el aire pase a la cámara anterior forzado por el motor, a través de un enfriador y filtro de aire de doble tubo.

Generadores de propulsión

Cinco generadores de propulsión, movidos por motores diesel, suministran la energía a cada uno de los motores de propulsión. Cada generador tiene una potencia nominal de 1340 Kw, 837 voltios, 1600 amperios; una potencia nominal para cuatro horas de 1700 Kw, 900 voltios, 1890 amperios; y una potencia nominal adicional para otras cuatro horas de 1700 Kw, 760 voltios, 2240 amperios. Esta última es necesaria para aprove-



El *"Glacier"*, el buque rompehielos mayor de la Armada de los E. U., desempeñará por primera vez sus tareas este invierno en la región antártica. Fué construído por la Ingalls Shipbuilding Corp.

char totalmente la fuerza disponible cuando el buque está atascado en condiciones en que requiere tres motores para seguir adelante. Lo anterior se basa en el principio de evitar la sobrecarga del equipo reduciendo la velocidad del motor mediante la disminución de voltaje del generador, pero manteniendo el rendimiento nominal de ambos.

Cada generador está protegido y tiene montado al lado un interruptor que funciona eléctricamente. Los interruptores sirven también de conmutadores de puesta en marcha para los generadores, y permiten el uso de cualquier combinación de uno a cinco generadores para el suministro de energía al motor de propulsión. Hay un reóstato separado en serie con el campo de derivación de cada generador. Estos reóstatos sirven para repartir la carga por igual entre los generadores que estén funcionando en paralelo, por no haber dispositivo para el ajuste separado de las velocidades de los motores.

Regulador de campo de los motores

Si la marcha de avance del buque se retarda o se detiene completamente a causa del hielo o de un remolque pesado, la potencia necesaria para mover la hélice a una velocidad determinada aumentará considerablemente en relación con la requerida cuando el buque navega sin impedimentos. Es decir, que se llega a una fuerza determinada con menos r.p.m. Esto se ve gráficamente en las curvas de la Fig. 2 (Pág. 29).

En un buque rompehielos como el "Glacier" es aconsejable obtener la máxima producción posible de la instalación de potencia con cualquier número de motores en funcionamiento, desde la situación de atascamiento hasta la de navegación libre. Para hacer esto hay que mantener todos los motores funcionando constantemente a la velocidad nominal; por lo tanto, si se desea la necesaria flexibilidad debe ajustarse el campo del motor de acuerdo con las condiciones de carga.

La hélice del "Glacier" puede cargar el motor de propulsión a su máxima producción nominal con una velocidad variable en una gama de 120 a 175 r.p.m., dependiente de que el buque esté completamente atascado o navegando libremente. Cuando el motor de propulsión está desarrollando la potencia nominal (10 500 HP) a 900 voltios, el campo total o velocidad mínima del motor es de 120 r.p.m., y el campo débil o velocidad máxima es de 175 r.p.m. Una vez que se han establecido estos puntos de voltaje y velocidad para un diseño de motor dado, se usa el mismo radio de ajuste del campo del motor para velocidades más bajas del motor y niveles menores de potencia reduciendo en las barras el voltaje aplicado al motor.

Eligiendo de esta manera el voltaje en las barras, puede abarcarse totalmente el radio necesario de velocidad de hélice, desde la situación de atascamiento del buque hasta la de navegación sin obstáculos, si se mantiene igual el rendimiento del equipo de producción de energía. En las labores de romper el hielo, las condiciones varían rápidamente de un extremo al otro; por tanto, hay que tomar disposiciones para regular automáticamente la fuerza del campo del motor con el fin de mantener la carga de éste a la producción nominal de la unidad de propulsión.

Regulador de potencia constante

La curva de la Fig. 3 (Pág. 29) muestra cuál debe ser la corriente del inducido del motor para el funcionamiento de éste con potencia constante a cualquier valor dado de voltaje en las barras. Para mantener estas cargas es necesario regular la velocidad del motor mediante el ajuste automático de la

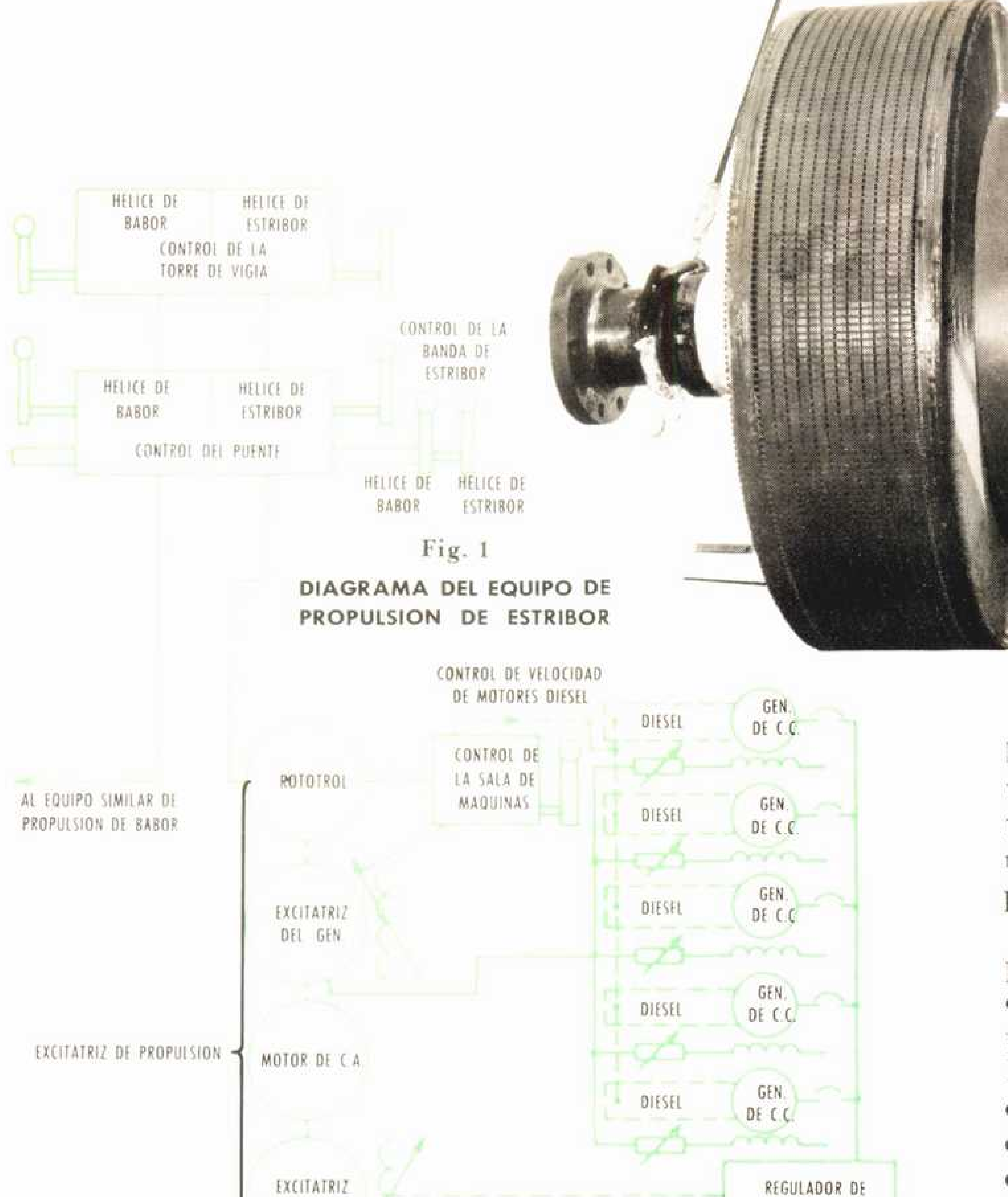


Fig. 1

DIAGRAMA DEL EQUIPO DE PROPULSION DE ESTRIBOR

El enorme inducido de uno de los motores de propulsión de c.c. descendiendo a su emplazamiento.
(Foto de la Armada de los E. U.)

corriente del campo hasta obtener la corriente de carga correspondiente al voltaje. De este modo, al cambiar la situación del buque en cualquier punto entre el atascamiento y la navegación sin impedimentos, el voltaje del generador se mantiene constante mientras el campo del motor se ajusta para mantener también constante la carga. La producción de potencia de la instalación permanecerá a su vez constante al aumentar o disminuir la velocidad de la hélice para responder a las diversas circunstancias de trabajo.

En condiciones ideales, la unidad de fuerza de propulsión funciona a una producción constante y el motor de propulsión desarrolla una fuerza constante, mientras que su velocidad varía de un extremo al otro de la escala para corresponder a todas las condiciones de trabajo desde el atascamiento hasta la navegación libre. Esto, de hecho, es equivalente a moverse hacia adelante o hacia atrás en una línea constante de fuerza entre las dos curvas de la Fig. 2. Por cada valor de voltaje en las barras hay un valor correspondiente de la potencia de propulsión que el motor de propulsión está destinado a desarrollar, y a la cual su velocidad de campo total corresponde a la carga de la hélice atascada, y su velocidad de campo débil a la carga de la hélice para navegación libre.

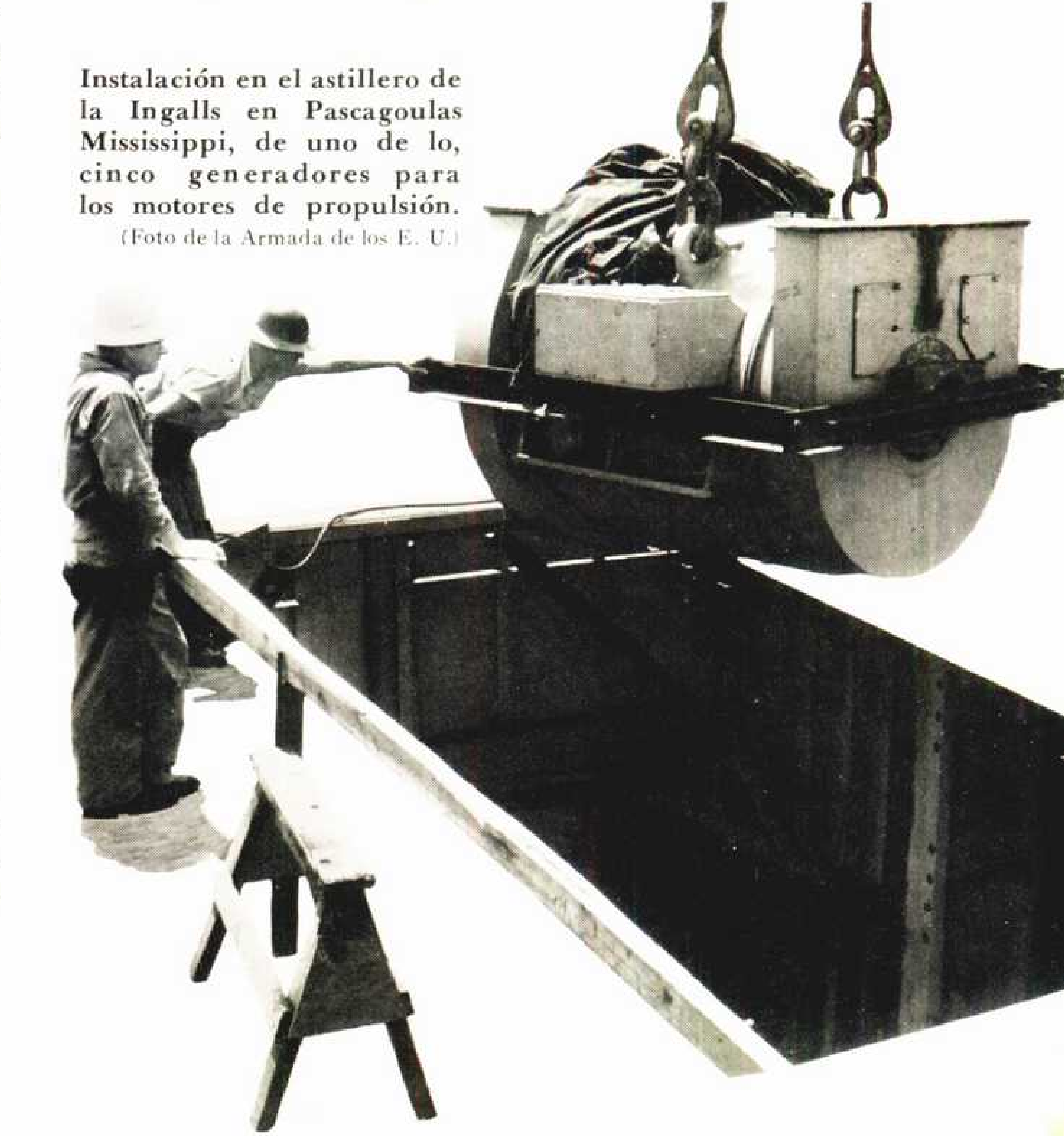
Funcionamiento con potencia reducida

En todo lo que va dicho hasta ahora se ha dado por supuesto que el buque funcionará con tres o más generadores conectados a cada motor y con el motor funcionando a fuerza constante en toda la gama de velocidades desde la de atascamiento hasta la de navegación libre. En condiciones de funcionamiento menos severas es posible conseguir un resultado satisfactorio de la unidad productora de energía con juegos de sólo uno o dos generadores de motor conectados a las barras de propulsión.

La velocidad de hélice correspondiente a la potencia completa de una máquina, en mar abierto, es de 95 r.p.m., que corresponde a una tensión de campo total de 710 voltios. Con una característica nominal continua del generador de 1340 Kw, la carga de éste es de 1890 amperios, que queda dentro del límite de sus características nominales. Para la condición de dos generadores de motor, la velocidad de marcha libre es de 120 r.p.m., que corresponde a una tensión de campo total de 900 voltios y a una carga de generador de 1490 amperios. Por lo tanto, para cargar completamente los dos generadores y sus motores hay que reducir la tensión de campo del motor.

Regulación de la velocidad del buque

Fundamentalmente, la regulación de la velocidad de la hélice se consigue con un solo voltaje variable del generador. Naturalmente, puede decirse que cualquier ajuste de los campos de los motores afecta la velocidad de las hélices, pero sólo hay que ajustarlos para compensar alguna nueva condición de trabajo. Para cualquier condición de funcionamiento, el



Instalación en el astillero de la Ingalls en Pascagoulas Mississippi, de uno de lo, cinco generadores para los motores de propulsión.
(Foto de la Armada de los E. U.)

campo del motor debe mantenerse constante y la velocidad del motor debe cambiar para los voltajes de barra variables. Hasta se puede gobernar la dirección de la rotación de la hélice por el voltaje del generador, ya que los motores se invierten simplemente con invertir la polaridad del generador.

El voltaje del generador del "Glacier" se regula por dos métodos: el cambio de velocidad de la máquina, y el cambio de fuerza del campo del generador. Los cinco generadores que mueven un motor de propulsión están conectados en paralelo por medio de interruptores de circuito de funcionamiento eléctrico. Estos interruptores entrarán en acción con sobrecarga, corto circuito o exceso de velocidad de la máquina, o bien pueden ser accionados a mano. El disparo para sobrecargas se prepara para corrientes más altas que cualquier máximo que pueda esperarse en servicio normal, y es ajustable desde 3000 hasta 5000 amperios. La protección contra una sobrecarga de corriente moderada no es necesaria, ya que la máquina no puede exceder de su carga nominal el tiempo suficiente para sobrecargar peligrosamente un generador.

Cuando el mando de velocidad está en posición de "alto", la corriente de la excitatriz del generador se reduce a cero. Sin embargo, a causa del flujo residual de la excitatriz puede haber peligro de aplicar al campo de excitación del generador bastante voltaje para producir un voltaje perjudicial en las barras de propulsión. Este voltaje puede ser suficiente para mantener el motor de propulsión girando aun cuando el control esté en la posición de "alto". Para impedir que este voltaje indeseable se presente en las barras de propulsión se instala un arrollamiento diferencial en la excitatriz del generador. Este bobinado, conocido por el nombre de "campo neutralizador", es conectado a las barras de propulsión cuando los controles están en la posición de "alto". Este campo, que toma su voltaje de las barras de propulsión, actúa para invertir la polaridad de la excitatriz del generador y hace que descienda a cero el voltaje en las barras de propulsión.

Mando a distancia—El contol a distancia de la velocidad del motor de propulsión es básicamente un sistema para hacer funcionar desde lejos el mando principal de velocidad del panel de la cabina de gobierno del motor. El sistema de control está dispuesto en tal forma que un pequeño potenciómetro con tres cables es todo lo que se necesita para regular la propulsión desde cualquier punto de la nave. El mando principal de la cabina de gobierno es el dispositivo que realmente regula la velocidad de propulsión en todo momento. Sin tener en cuenta el punto de donde proceda el mando a distancia, el encargado de la cabina de mando puede asumir el gobierno del buque en cualquier instante con sólo abrir el interruptor correspondiente en su panel de control.

Protección contra fallas

Para proteger el sistema contra una falla en las barras de propulsión, que pudiera llegar a exceder las características nominales del interruptor de cada generador separado, es necesario interrumpir la corriente del generador y de los campos de los motores. El método más sencillo para cortar la corriente a los campos sería el uso de un contactor en el circuito inductor. Pero infortunadamente si los campos de los generadores y los motores permanecen conectados a las excitatrices la constante de tiempo del circuito del campo es muy larga, algo así como tres o cuatro segundos. Durante ese tiempo las máquinas de c.c. podrían sufrir daños considerables. Para reducir el tiempo necesario para hacer descender la corriente de excitación, y por consiguiente el corto circuito, hasta un valor que ofrezca seguridad, el propio circuito de campo debe abrirse, con lo que el campo queda separado de la excitatriz. Se dispone un contactor de campo con largos conductos de arco y dobles sopladores de arco construidos especialmente para permitir la producción de voltajes de arco superiores a 1000 voltios cuando se interrumpen las corrientes de excitación.

Sistema de escora

Una aplicación inusitada, que sólo ocurre en los barcos rompehielos, es el uso de bombas de tipo de hélice completamente reversibles para trasegar grandes cantidades de agua de lastre entre los tanques laterales, los cuales se sitúan en alto fuera de la borda, en un ciclo de tiempo regulado. Este trasiego del lastre produce un balanceo continuo que se aprovecha, en determinadas condiciones, para impedir que el buque quede firmemente aprisionado por el hielo.

Mediante la acción de las tres bombas de escora, cada una de las cuales es movida por un motor de inducción de jaula de ardilla de 100 HP, puede trasegarse un total de 320 toneladas de agua del mar de una banda del buque a la otra en unos 85 segundos. La corriente para el funcionamiento de los tres motores de escora se toma de uno de los generadores de servicio de a bordo de 400 Kw. Para realizar este servicio con funcionamiento inverso del motor, el control de ciclos tiene un retardo de 2½ segundos en la posición cerrada, en la cual el flujo invertido del agua, a causa de la gravedad, detendrá el motor y tenderá a invertir su rotación. Los tres motores de las bombas arrancan en secuencia para reducir el total de Kva de entrada.

Las bombas de escora pueden funcionar mediante mando manual, con lo cual el operario determina el tiempo de inversión. Normalmente, sin embargo, el control se fija automáticamente, y los motores de las bombas se invierten a intervalos periódicos.

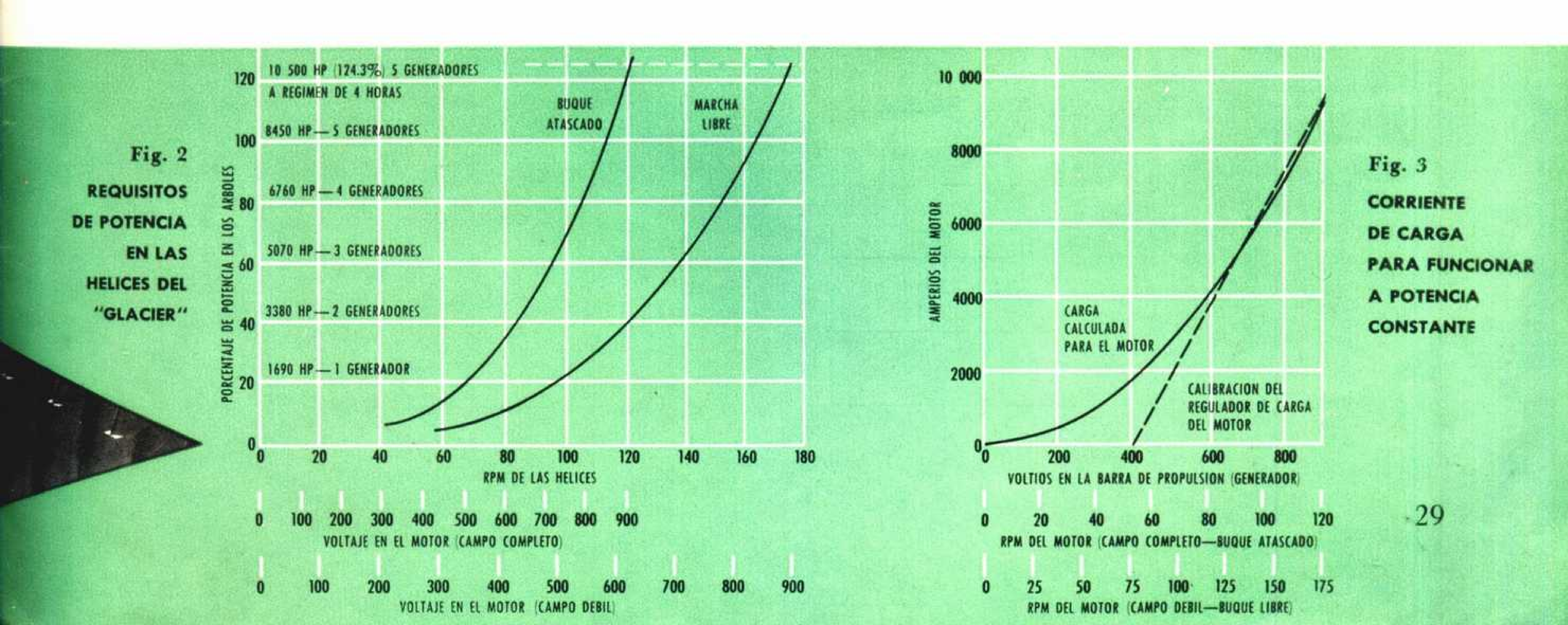
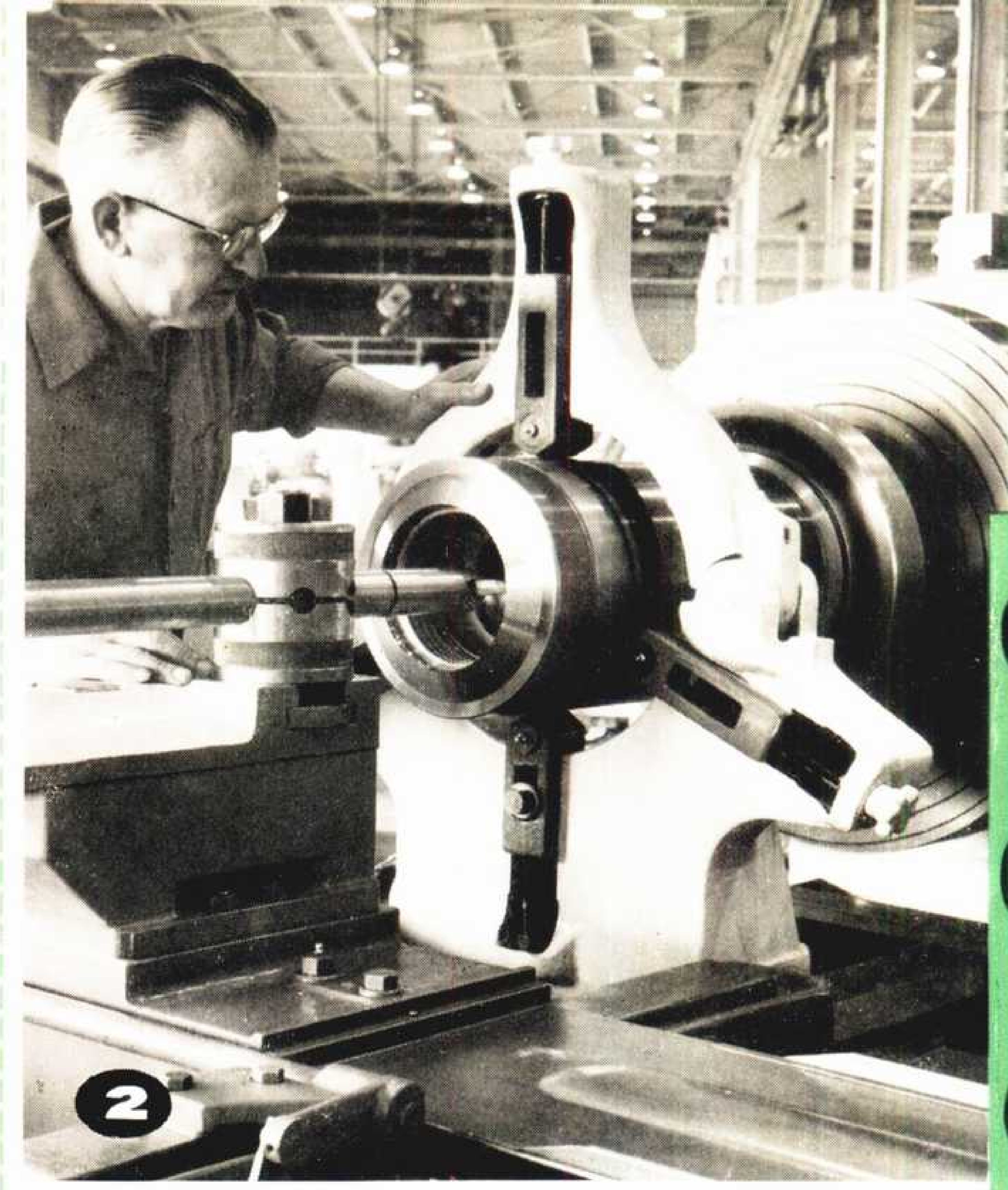


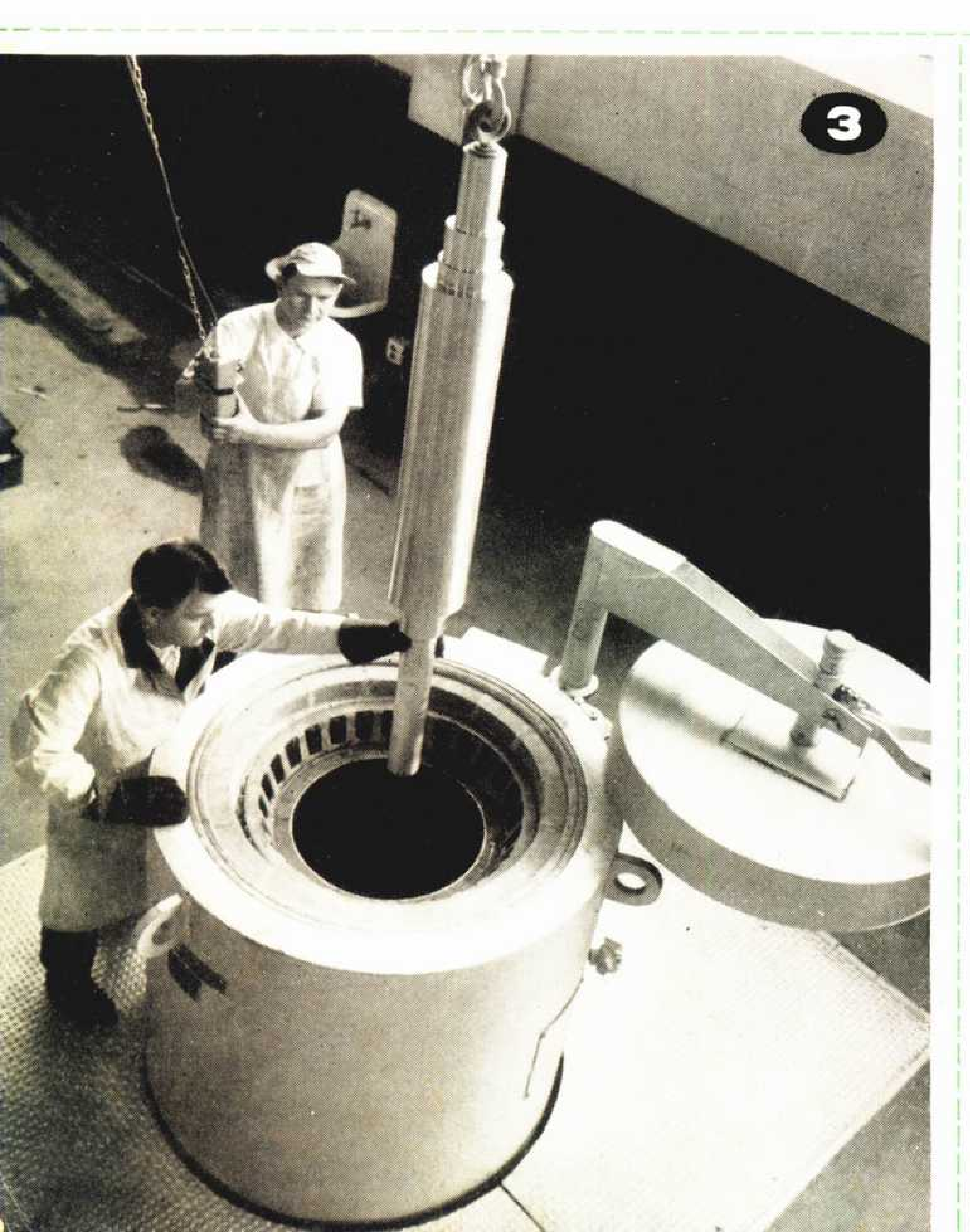
Fig. 2 REQUISITOS DE POTENCIA EN LAS HELICES DEL "GLACIER"

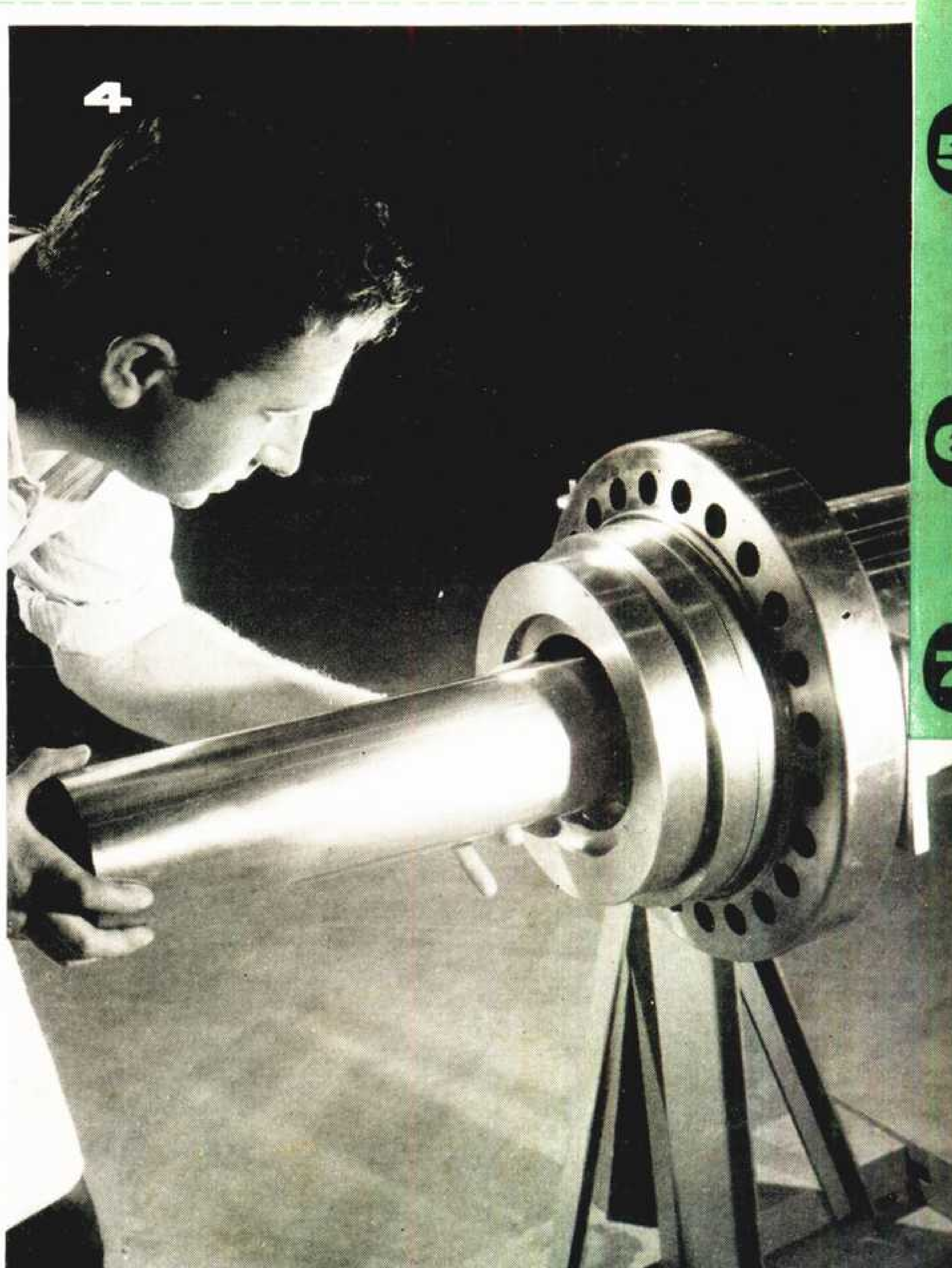
Fig. 3 CORRIENTE DE CARGA PARA FUNCIONAR A POTENCIA CONSTANTE



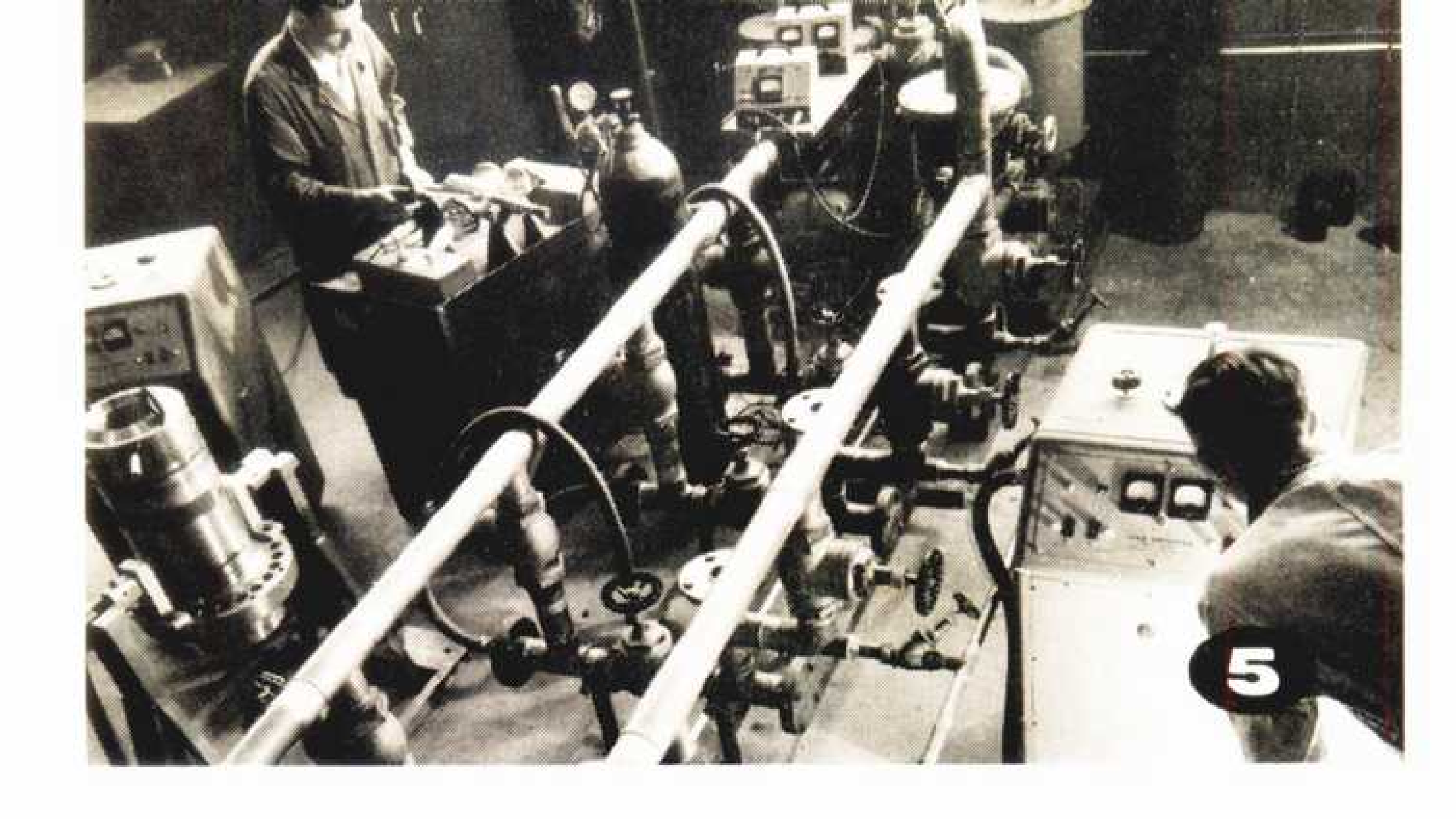


cierre *"Hermético"* de precisión para motobombas





1 2 3 4 5 6 7



Por tener las motobombas de cierre hermético contacto directo con agua radiactiva, la precisión extremada es la regla más bien que la excepción. Aquí vemos a un maquinista vigilante mientras su torno vertical hace un corte en la voluta de acero inoxidable.

Con precisión de relojero, un maquinista da los toques finales a la rosca del anillo extremo del estator destinado a una motobomba de cierre hermético.

Antes del fresado final, el rotor del motor eléctrico recibe un tratamiento térmico en un horno vertical de 4.5 metros de profundidad. El rotor se calienta a una temperatura de 730°C durante 10 horas, y luego se deja enfriar lentamente bajo estricto control.

Las motobombas de cierre hermético van dentro de cilindros de aleación de níquel colocados en el interior del ánima del estator y rodean el núcleo del rotor para sellarlos herméticamente.

El estator se somete a una prueba de fuga de gas con un espectrómetro de masa que usa helio a 140.6 Kg/cm^2. Este método de prueba permite descubrir una fuga de helio tan pequeña como de 8 x 10^{-6} c.c. por segundo, con una diferencial de presión de 1.05 Kg/cm^2 en el espectrómetro.

El rotor del motor eléctrico de una motobomba de cierre hermético tiene que funcionar sin vibraciones. Para asegurar este funcionamiento todos los rotores se equilibran estática y dinámicamente. Aquí un operario equilibra con extremada precisión un gran rotor para bomba.

Arriba, al extremo derecho, se ve una motobomba de cierre hermético completa. La unidad de la ilustración es capaz de extraer un total de 570 litros por minuto.

La "motobomba de cierre hermetico", creada por Westinghouse en cumplimiento de su contrato con la Comisión de Energía Atómica para construir la maquinaria del submarino atómico, se está fabricando con precisión digna de un aparato de relojería en los talleres del Departamento de Equipo Atómico de Cheswick, en Pensilvania. Estos son los primeros talleres costeados con capital privado construídos exclusivamente para la producción de componentes de sistemas nucleares.

Estas bombas se proyectaron para satisfacer la necesidad de hacer circular un refrigerante líquido en un circuito sellado herméticamente. Esos circuitos comprenden el sistema refrigerante primario para reactores nucleares, un sistema de vapor en el cual se requiere circulación controlada o forzada, y aplicaciones de ciertos procesos de las industrias química y petrolífera.

7



El diseño de la motobomba hermética es de concepción absolutamente original, por estar el impulsor de la bomba y su motor de accionamiento eléctrico encerrados en una sola caja cerrada a presión. Así, el flúido movido por la bomba circula por todo el motor de accionamiento, es decir por sus cojinetes, su rotor y alrededor de su estator sellados herméticamente. Los arrollamientos del estator se protegen contra el flúido caliente cubriendo los extremos y el diámetro exterior con camisas de acero inoxidable y forrando luego el ánima con un cilindro o cierre hermético de fina chapa de aleación de níquel, soldada a prueba de fugas en cada extremo. La superficie externa del rotor también se sella en forma análoga.

Estas motobombas de cierre hermético varían en capacidad de 20 a 65 000 litros por minuto. Cada una puede mover líquidos a presiones hasta de 175 Kg/cm^2 y temperaturas hasta de 345°C. Hay diseños especiales para metales líquidos a temperaturas hasta de 540°C.



¿Qué hay de NUEVO?



Los calentadores aumentan la producción de los pozos petrolíferos

SE HA logrado construir un calentador para pozos petrolíferos con el fin de reavivar o mejorar la producción de los pozos atascados. Los largos calentadores tubulares Corox, bajados a la profundidad en que previamente había producción, elevan la temperatura del petróleo y con ello derriten el material ceroso mezclado con la "arena" petrolífera que los atascaba.

La eficacia del calentamiento de los pozos petrolíferos se ha demostrado en Montana, donde desde hace 12 meses viene funcionando un total de 24 calentadores. La producción petrolífera de la mayoría de estos pozos llegó al doble a las pocas horas de calentamiento. La mayor parte de los anteriores intentos de aumentar la producción calentando el petróleo resultaron infructuosos por haberse quemado prematuramente los calentadores. En muchos casos, la falla del calentador ocurrió en un período desde varios días hasta varias semanas.

Los geólogos calculan que más del 50 por ciento del petróleo que hay en las inmediaciones de los pozos viejos queda en el terreno, resistiendo tenazmente los más modernos métodos de explotación. Un obstáculo para la recogida completa de todo el petróleo es la parafina, semejante a la substancia que se usa para cerrar herméticamente los frascos de jalea de fabricación casera. Mientras el petróleo permanezca a la temperatura alta corriente del subsuelo, la parafina se conserva en el petróleo en forma líquida. Sin embargo, la temperatura del fondo de un pozo petrolífero baja después de algunos años de producción, y entonces la parafina empieza a solidificarse.

Las compañías petroleras han usado durante mucho tiempo raspadores metálicos para eliminar la parafina que quedaba depositada en las paredes de la tubería de acero, por la que se extraía el petróleo a la superficie. Pero era evidente que la parafina también se solidificaba dentro de la propia formación petrolífera, impidiendo en consecuencia que el petróleo llegase siquiera a la tubería y las bombas que habrían de elevarlo a flor de tierra.

La nueva unidad calentadora Westinghouse se enrosca a un trozo de tubería corriente de cinco centímetros y se baja al pozo. Las secciones siguientes del tubo van empalmándose en la superficie hasta que el calentador llega a la profundidad deseada. Al exterior del trozo de tubería de cinco centímetros se sujeta a intervalos, con abrazaderas, un cable de un solo conductor a medida que el calentador y la tubería van bajando al pozo. La unidad calentadora consiste en cuatro elementos Corox con vaina de acero soportados en la parte superior por una caja terminal de acero y en el fondo por un manguito protector también de acero. Cada uno de los calentadores va conectado a tierra por el manguito de acero del fondo, con lo que la energía vuelve a la superficie a través del tubo de cinco centímetros. Los calentadores de elementos Corox pueden variar en longitud desde 1.23 metros hasta 4.30 metros para dar una producción de energía de 5, 7½, 10 ó 20 Kw.

• • •

Escenas históricas de la construcción de una máquina atómica, reveladas en una película

UNA NUEVA película titulada "A dawn's early light" ("La primera luz del alba"), impresionada tanto en color como en blanco y negro, exhibe al público por primera vez escenas reales recogidas por la cámara durante la construcción por Westinghouse, mediante contrato con la Comisión de Energía Atómica y bajo la inspección de ésta, de una central de energía nuclear para el primer submarino atómico, el "U. S. S. Nautilus".

Una parte de la película muestra el embarque del núcleo reactor—la parte que contiene los elementos del uranio combustible—desde la fábrica Bettis de la Comisión de Energía Atómica, cerca de Pittsburgh, hasta la instalación de Idaho, donde fué montado en un modelo de tamaño natural de la central de propulsión del "Nautilus". Otra escena muestra una parte de la instalación de la cámara de presión para el reactor en el casco del prototipo terrestre del submarino.

El protagonista de la película es Fred MacMurray, y desempeñan los otros papeles principales Fay Wray y Jack Dimond. MacMurray hace el papel de un científico nuclear de Westinghouse cuyo hijo, alumno de primer año de un colegio de enseñanza superior, está preocupado y abrumado por la misión que va a heredar, con el resto de su generación, consistente en aplicar un freno de tipo social a la energía atómica.

La producción de "A Dawn's Early Light" estuvo a cargo de la división de películas de Westinghouse. La nueva cinta, cuya duración es de 30 minutos, fué dirigida por Ted Post y se efectuó con la ayuda técnica de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos y del Ministerio de Defensa.



Semblanzas

J. A. Wasmund • *C. L. Mershon y N. F. Schuh* • *D. Steinweg* • *R. Forrest y W. Schmidt* • *William A. Sumner y Robert A. Zimmerman*

• Aunque esta es la primera vez que *J. A. Wasmund* aparece en *EL INGENIERO*, escribir no es para él ninguna novedad. Ha escrito ya más de una docena de artículos para revistas de marina, así como varios informes para sociedades técnicas.

Wasmund llegó a Westinghouse por medio del Curso de Instrucción de Estudiantes Graduados, con un título de Ingeniero Electricista de la Universidad de Nebraska, en 1929. Sin embargo, cuando en 1930 terminó sus estudios en la Escuela de Diseño, en los tiempos de la depresión, escaseaban los empleos para los estudiantes recién graduados. En vista de ello se separó de Westinghouse para hacerse instructor de ingeniería eléctrica en la Universidad de Pittsburgh. Durante su permanencia allí, Wasmund obtuvo su título de Perito de Ingeniería. En 1939 volvió a Westinghouse, donde ingresó en el Departamento de Ingeniería Marítima de la División de Ingeniería Industrial.



Wasmund ha trabajado en todos los tipos de buques movidos por electricidad, entre ellos petroleros, guardacostas, dragas, remolcadores, transbordadores y rompehielos; de este último nos habla en el presente número.

• *C. L. Mershon* y *N. F. Schuh* son coautores del artículo sobre sistemas de control de c.a. para aviación. Mershon, oriundo de Alabama, se graduó en 1941 del Instituto Politécnico de Alabama. Poco después ingresó en Westinghouse, y después del tiempo habitual en el Curso de Estudiantes Graduados pasó al Departamento de Porcelana. Allí trabajó en el perfeccionamiento de aisladores de líneas de transmisión sin interferencia de radio. En 1943 fué trasladado al Departamento de Ingeniería de Aviación para trabajar en equipo eléctrico para aviones. Sus labores allí han abarcado ampliamente desde entonces todas las variedades de este tipo de material, desde los torsiómetros electromagnéticos de motores hasta los reguladores de voltaje Magamp. En 1951, Mershon ascendió al cargo de subgerente de la sección de controles, y más tarde fué nombrado gerente interino.

Schuh llegó a Westinghouse procedente de la Universidad de la Florida, donde recibió su título de Ingeniero Electricista en 1949. Al igual que Mershon, siguió el Curso de Estudiantes Graduados, y después entró en la sección de controles del Departamento de Ingeniería de Aviación. Sus presentes actividades están concentradas en los transistores, los cuales está adaptando al equipo de control de aviones. Schuh es miembro activo de las asociaciones profesionales y actualmente es presidente de la sección local del AIEE en Lima (Ohio).

• ¿Seré músico o ingeniero? Este fué el dilema que tuvo que resolver *Don Steinweg* en 1943. Terminado su primer año en la Universidad de Cornell, tuvo que decidir entre acabar su educación musical en la banda de la Marina de Guerra o completar sus estudios académicos acogido al programa educativo de la Marina, llamado "V-12". Se decidió por esta última solución y obtuvo el título de Bachiller en Ciencias de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Northwestern.

Steinweg ingresó en el Curso de Instrucción de Estudiantes Graduados en 1946. Después de un cursillo de cuatro meses de ingeniería de rayos X en Baltimore, pasó a Cleveland de ingeniero de aplicación de la División de Rayos X.

En 1953, Steinweg regresó a Baltimore, donde ha permanecido desde entonces trabajando en ingeniería aplicada para aparatos de rayos X de usos especiales, algunos de los cuales describe en este número.

• Los autores del artículo sobre el nuevo contador de vatios-hora que publicamos en este número son *Ray Forrest* y *Warren J. Schmidt*. Forrest, nacido en Newark, es graduado del Colegio Normal de Maestros del Estado, de Montclair; poco después de su graduación en 1940, vino a Westinghouse y empezó a trabajar en la sección de instrumentos de la División de Contadores. Durante la guerra trabajó con muchos instrumentos para la Marina y la Fuerza Aérea. Desde entonces pasó cinco años en la sección de relevadores, y el resto del tiempo hasta hoy en el departamento de ventas de contadores, lo cual le ha permitido familiarizarse ampliamente con todas las actividades de la División de Contadores.

Schmidt se graduó en ingeniería mecánica en el Instituto Pratt. Poco después de terminar sus estudios en 1950, entró en el Programa de Instrucción de Estudiantes Graduados de Westinghouse, y a principios de 1951 pasó a la División de Contadores de ingeniero auxiliar de diseños. En ella trabajó en varios proyectos de modelos para el nuevo contador monofásico, y luego, en 1954, fué ascendido a ingeniero de proyectos encargado del diseño del nuevo contador polifásico. Después lo hicieron ingeniero inspector de la sección que se ocupa de proyectos de gran alcance.

• *William A. Sumner* y *Robert A. Zimmerman* vienen colaborando en la aplicación de sistemas subterráneos económicos de distribución residencial desde 1950, y esto es garantía de su competencia para escribir un artículo autorizado sobre este tema.

Sumner es originario de Connecticut. Se graduó primero de la Escuela de Ingeniería de Yale, y después, en 1917, de la Escuela de Ciencias de Sheffield. Después de un año de ampliación de estudios en Yale y un corto período de servicio en el Cuerpo de Comunicaciones Militares de los Estados Unidos, ingresó en el



Curso de Instrucción de Estudiantes Graduados de Westinghouse en 1919. Terminado este curso, fué nombrado ingeniero de diseños de transformadores de distribución e instrumentos en East Pittsburgh. Cuando se trasladó la División de Transformadores a Sharon (Pensilvania), Sumner fué allá de ingeniero de diseños de perfeccionamiento de transformadores de distribución. En 1932 ascendió a ingeniero de sección, y en 1940 a gerente de ingeniería de distribución.

Zimmerman entró en el grupo de distribución de ingeniería de servicios públicos eléctricos en East Pittsburgh a raíz de su graduación en la Universidad de Purdue en 1949. Desde entonces su trabajo ha consistido principalmente en diseño de sistemas, estudio de fallas y estudio de cargas de servicios de suministro de electricidad, instalaciones industriales y sistemas de distribución en edificios comerciales.



Aunque parezca increíble, este haz de luz representa un esfuerzo para reducir el ruido en las zonas densamente habitadas. El reflector, uno de los más potentes jamás construídos, sirve de "semáforo de circulación" aérea para dirigir los aviones que salen del Aeropuerto La Guardia de Nueva York por una zona de despegue menos poblada. Una lámpara de mercurio de arco corto de 2500 vatios produce un rayo de luz de unos 300 millones de bujías, equivalente en intensidad luminosa a la de unos 10 000 faros de automóvil corrientes.